GRUNDRISS

EINER

GESCHICHTE

DER

NATURWISSENSCHAFTEN

VON

DR. FRIEDRICH DANNEMANN

II. BAND

ZWEITE AUFLAGE



Ex-libris
Charles Atwood
Kofoid
BMC

GRUNDRISS

EINER

GESCHICHTE DER NATURWISSENSCHAFTEN

ZUGLEICH EINE EINFÜHRUNG

IN DAS

STUDIUM DER GRUNDLEGENDEN NATURWISSENSCHAFTLICHEN LITERATUR

VON

DR. FRIEDRICH DANNEMANN

II. BAND

ZWEITE, NEU BEARBEITETE AUFLAGE

MIT 87 ABBILDUNGEN ZUM GRÖSSTEN TEIL IN WIEDERGABE NACH DEN ORIGINALWERKEN, EINEM BILDNIS VON GALILEI UND EINER SPEKTRALTAFEL

LEIPZIG
VERLAG VON WILHELM ENGELMANN
1903

DIE ENTWICKLUNG

DER

NATURWISSENSCHAFTEN

DARGESTELLT

VON

DR. FRIEDRICH DANNEMANN

MIT 87 ABBILDUNGEN ZUM GRÖSSTEN TEIL IN WIEDERGABE NACH DEN ORIGINALWERKEN, EINEM BILDNIS VON GALILEI UND EINER SPEKTRALTAFEL

LEIPZIG
VERLAG VON WILHELM ENGELMANN
1903

Vorwort zur zweiten Auflage.

Auch von dem vorliegenden Bande ist nach verhältnismäßig kurzer Frist eine zweite Auflage nötig geworden, so daß jetzt der gesamte Grundriß in neuer Bearbeitung und in mancher Hinsicht vervollständigt und verbessert vorliegt.

Über Zweck und Ziel des ganzen Werkes habe ich mich in dem Vorwort zum I. Bande beim ersten wie beim zweiten Erscheinen ausführlich ausgesprochen.

Der Verlagsbuchhandlung, welche für eine treffliche Ausstattung des Werkes Sorge getragen, bin ich zu großem Danke verpflichtet. Nicht minder danke ich für manche wertvolle Berichtigung und Anregung, welche mir durch die Besprechungen zu teil geworden, und für das Wohlwollen, das man dem Werke bisher entgegengebracht hat.

Möge es auch fernerhin sich nicht nur für den naturwissenschaftlichen Unterricht als ein geeignetes Hilfsmittel erweisen, sondern, wie ich schon beim ersten Erscheinen äußerte, immer mehr dazu beitragen, daß die Geschichte der Naturwissenschaften in gleichem Maße wie die allgemeine Weltgeschichte zum Gemeingut aller Gebildeten werde.

Barmen, Juli 1903.

Dr. Friedrich Dannemann.

Inhalt.

Seite

Einleitung 1

I. Das Altertum 5

II. Das Mittelalter 64

III. Die neuere Zeit 91

1. Das Zeitalter des Kopernikus 94
2. Während der von Galilei bis zum Auftreten Newtons reichenden Periode erstehen die Grundlagen der neueren Naturwissenschaft 114
3. Das Zeitalter Newtons 190
4. Das achtzehnte Jahrhundert bewirkt den weiteren Ausbau der in den Zeitaltern Galileis und Newtons erschlossenen Forschungsgebiete 241

IV. Die neueste Zeit 300

1. Die Neugestaltung der Chemie durch die Erklärung der Verbrennungserscheinungen und die Aufstellung der atomistischen Hypothese 301
2. Die Entdeckung der galvanischen Elektrizität und ihrer hauptsächlichsten Wirkungen 320
3. Der insbesondere durch Laplace und Herschel bewirkte Aufschwung der Astronomie 335
4. Die weiteren Fortschritte der chemisch-physikalischen Forschung während der ersten Jahrzehnte der neuesten Zeit 349
5. Die Zoologie und die Botanik werden auf die Grundlage des natürlichen Systems gestellt 370
6. Die Naturwissenschaften im Zeitalter der Entdeckung des Energieprinzips 381
7. Die „beschreibenden“ Naturwissenschaften nehmen unter dem überwiegenden Einfluß der chemisch-physikalischen Forschung ihren heutigen Charakter an 408
8. Wichtige Errungenschaften der chemisch-physikalischen Forschung seit der Entdeckung des Energieprinzips 418
9. Aufgaben und Ziele 429

Namen-Register zu Band I u. II 439

Sach-Register zu Band I u. II 444



GALILEO GALILEI
1564–1642.
(Nach einem Stich von G. Cipriani.)

Multi pertransibunt et augebitur
scientia. *Bacon.*

Einleitung.

Die Entwicklung der Wissenschaften hat im allgemeinen mit dem Fortschreiten der Menschheit, wie es sich in dem Emporsteigen der gesamten Kultur ausspricht, gleichen Schritt gehalten. Eine Geschichte der Naturwissenschaften wird aus diesem Grunde mit der allgemeinen Geschichte in Beziehung zu setzen sein; nur wenn die letztere den Rahmen abgibt, wird sich ein volles Verständnis für die erstere erzielen lassen. Es erscheint daher naturgemäß, für die Geschichte der Wissenschaften eine den bekannten Abschnitten der Weltgeschichte entsprechende Gliederung einzuhalten.

Wie uns im Altertum zugleich mit den Anfängen der Staatenbildung die ersten Keime aller Kultur und Gesittung entgegentreten, so gilt etwas ähnliches auch bezüglich der Naturwissenschaften. Auch auf diesem Gebiete finden wir während des genannten Zeitraums überall Ansätze und unvollkommene Lösungen der in Angriff genommenen Probleme.

Nachdem sich die ersten Regungen des mathematischen Denkens gezeigt, wurden die Fragen nach Gestalt und Größe der Erde, sowie ihrer Beziehung zu den übrigen Weltkörpern aufgeworfen und in solchem Umfange der Lösung entgegengeführt, daß damit die Grundlage für jede weitere geographische und astronomische Erkenntnis geschaffen war. Unter den physikalischen Leistungen der Alten nehmen die bewunderungswürdigen Arbeiten des Archimedes, des Schöpfers der Mechanik, die erste Stelle ein. Ferner

werden wichtige Probleme der Optik und Akustik in Angriff genommen. Bei Aristoteles begegnet uns sogar die Ansicht, daß das Licht wie der Schall auf die Bewegung eines zwischen dem empfindenden Auge und dem leuchtenden Körper befindlichen Mittels zurückzuführen sei. In einer späteren Zeit stellt man Versuche über die Wirkung durch Wärme erzeugter Dämpfe an. Selbst die Grunderscheinungen des Magnetismus und der Reibungselektrizität werden beobachtet und zu erklären gesucht. Auch die Wurzeln der chemischen Wissenschaft haben wir im Altertum zu suchen. Sowohl durch zufällige Beobachtung als durch zweckbewußte Ausübung mancher Gewerbe, insbesondere der hüttenmännischen Betriebe, wurde man mit einer Menge stofflicher Veränderungen bekannt. Gegen das Ende des Altertums taucht dann das Problem der Metallveredelung auf. Wenn sich letzteres auch nach tausendjährigem vergeblichen Mühen als ein Trugbild erwies, so war es doch für die Entwicklung der Wissenschaft von größter Bedeutung, da es zu fortgesetzter Beschäftigung mit chemischen Dingen angeregt und auf solche Weise zahlreiche wichtige Entdeckungen herbeigeführt hat.

Lange bevor die physikalischen und chemischen Erscheinungen zur Bildung von Begriffen führten, wird sich das Interesse des Menschen den Einzeldingen zugewandt haben, welche als Tiere, Pflanzen, Mineralien und Gesteine die umgebende Natur in ihrer reichen Mannigfaltigkeit zusammensetzen. Von den zahllosen daraus entspringenden Beobachtungen gelangte schon das Altertum zu einer systematischen Zusammenfassung, so daß die Anfänge der Naturbeschreibung gleichfalls in diesem Zeitalter zu suchen sind, welches somit die Grundlagen für sämtliche Hauptzweige der Naturwissenschaften errichtet hat. Unsere Aufgabe wird es sein, dies zunächst im einzelnen nachzuweisen, um dann in späteren Abschnitten das weitere Schicksal der von den Alten aufgeworfenen, von ihnen jedoch nur teilweise oder unvollkommen gelösten Fragen zu verfolgen.

Bezeichnend ist für das Altertum, daß man selten auf dem mühsamen Wege der experimentellen Forschung die Bewältigung der gestellten Aufgaben versuchte, sondern, wie Bacon[1]) sich ausdrückt, in der Regel „von den Sinnen und dem Einzelnen gleich zu den allgemeinsten Sätzen hinaufflog“. Dies Verhalten wird daraus erklärlich, daß die ersten Regungen des Kausalitätstriebes

1) Bd. I. d. Grdr. S.

sich mit einem allzu ungestümen Drange geltend machten, wie es ja auch in dem Entwicklungsgange des einzelnen Menschengeistes der Fall zu sein pflegt. Wer eine Lösung auf die Frage nach dem Grunde alles Seins und Geschehens bot, wurde gefeiert und genoß in einem Zeitalter, in welchem der kritische Geist noch schlummerte, Ansehen und Autorität. So entstand die Philosophie eines Thales und der Pythagoräer. Auf demselben Grunde erhob sich später das Lehrgebäude des Aristoteles, welches seine herrschende Stellung bis über das Mittelalter hinaus behauptete.

Erst im Beginn der neueren Zeit, als die Kritik die Axt an alles Überlieferte legte, gelangt man zu der Erkenntnis, daß die betretene Bahn nicht zum Ziele führe. Nun erst versucht man es mit dem zweiten mühevollen Wege, der, „von dem Sinnlichen und Einzelnen ausgehend, allmählich in die Höhe steigt und erst zuletzt zum Allgemeinsten gelangen läßt[1])". Aber auch hierin weist das Altertum genug der Ansätze auf. Archimedes hatte auf Grund von Experiment und mathematischer Entwicklung die Fundamente der Mechanik geschaffen und Ptolemäos ganz nach Art der neueren Physiker das Problem der Brechung in Angriff genommen. Vor allem aber hatten an die Erscheinung des Sternenhimmels anknüpfende Philosopheme, sowie die Zeitbestimmung fortgesetzte astronomische Beobachtung erfordert. Hier fand man in bestimmter Wiederkehr verlaufende Erscheinungen; und es ist natürlich, daß man hier zuerst auch solche messend zu verfolgen strebte. Beobachten und Messen bilden aber das wichtigste Erfordernis des induktiven Verfahrens.

Der Mißerfolg auf dem trotz dieser Ausnahmen vorwiegend beschrittenen Wege bewirkte endlich, entweder auf alles tiefere Erkennen zu verzichten oder es mit dem mühevollen Verknüpfen von Beobachtung, Experiment und mathematischer Deduktion zu versuchen. Als Probe auf die Richtigkeit dieses zunächst nur von wenigen hervorragenden Geistern geübten Verfahrens stellte sich alsbald der glänzendste Erfolg ein. So kam es, daß man mehr und mehr in das neue Fahrwasser einlenkte, bis dieses schließlich zu der breiten Bahn wurde, auf der die Menschheit während weniger Jahrhunderte zur Herrschaft über die Natur gelangt ist.

Die erste Stufe in der Entwicklung der Naturwissenschaften reicht bis zum Aufhören der alten Kulturwelt. Ähnlich wie in

---

1) Bacon a. a. O.

der Staatengeschichte der Untergang des weströmischen Reiches in den Stürmen der Völkerwanderung eine Marke bildet, bezeichnet dort die Zerstörung der alexandrinischen Bibliothek das Ende eines Abschnitts. Zwar sind beide Ereignisse durch einen Zeitraum von 150 Jahren getrennt, doch stimmen sie vor allem darin überein, daß in beiden Fällen das Alte dem Hereinbrechen plötzlich auftauchender, roher aber bildungsfähiger Elemente erliegt, um dennoch wieder durch die tiefgehende Rückwirkung, die es äußert, zu neuem Leben zu erwecken.

Eine lange Zeit verstrich indes, bis das Feld, auf dem die alte Kultur untergegangen, neue Triebe hervorbrachte. Auch der Keim, den das Altertum auf dem Gebiete der Naturwissenschaften gepflegt, erwachte erst am Ende jener Zeit des Überganges, welche man als das Mittelalter bezeichnet. Wie die allgemeine Geschichte in der Entdeckung der neuen Welt den Wendepunkt erblickt, so wollen wir als ein Ereignis von hervorragender Bedeutung die Begründung des heliozentrischen Systems an die Spitze des neuen Zeitraums stellen. Wie Europa durch die Tat des Columbus, so wurde die gesamte Erde durch die Geistestat des Kopernikus der bisherigen zentralen Stellung enthoben. Europa ward zu einem kleinen Erdteil, die Erde selbst, bis dahin in der Vorstellung der Menschen der Mittelpunkt der Welt, zu einem Stern gleich vielen anderen.

Auf die Zeit des Wiederauflebens, in der auf allen Gebieten an das von den Alten Geschaffene angeknüpft wurde, folgt dann die Glanzperiode in der Entwicklung der Naturwissenschaften, indem das neuere Zeitalter unter der Führung eines Galilei, Keppler, Newton und Huygens seine eigenen Bahnen zu wandeln beginnt. Während das 18. Jahrhundert vorwiegend mit der Vollendung des von diesen Männern errichteten Lehrgebäudes beschäftigt ist, fällt mit dem tiefgreifenden Ereignis der französischen Revolution zeitlich und bis zu einem gewissen Grade auch ursächlich der Beginn der letzten Periode der Geschichte der Naturwissenschaften zusammen. Ist doch der gewaltige Fortschritt, den das 19. Jahrhundert auf diesem Gebiete erlebt hat, nicht zum mindesten durch die staatliche Entwicklung der Kulturvölker Europas bedingt, für welche die französische Revolution das Signal gewesen ist. Zugleich mit dem Gedanken des modernen Staatsbürgertums wurde der Welt in der galvanischen Elektrizität eine neue Naturkraft geschenkt.

Vorstehenden Ausführungen gemäß wollen wir die Geschichte der Naturwissenschaften in folgende vier Abschnitte einteilen:

I. Das Altertum; bis zur Zerstörung der alexandrinischen Bibliothek im Jahre 642 n. Chr.

II. Das Mittelalter; vom Jahre 642 n. Chr. bis zur Aufstellung des Kopernikanischen Systems.

III. Die neuere Zeit; von der Aufstellung des Kopernikanischen Systems bis zur Begründung der modernen Chemie und der Erfindung der galvanischen Kette.

IV. Die neueste Zeit.

I. Das Altertum.

Dem ersten naturwissenschaftlichen Lehrgebäude, welches in der Blüteperiode des griechischen Geisteslebens durch Aristoteles errichtet wurde, gingen ungemessene Zeiträume voraus, in denen die einfachsten Beobachtungen, die Grundlagen aller Wissenschaft, teils zufällig, teils auch schon mit bestimmter Absicht angestellt, selten aber gesichtet und aufgezeichnet wurden. Aus dieser Periode stammende Urkunden sind deshalb höchst spärlich, so daß sich die Wurzeln der Naturwissenschaften, wie so mancher anderen Betätigungen des menschlichen Geistes, im Dunkel vorgeschichtlicher Zeiten verlieren. Soviel ist jedoch gewiß, daß wir diese Wurzeln nicht in Griechenland zu suchen haben, wo uns die ersten wissenschaftlichen Lehrgebäude entgegen treten. In den Niederungen des Nils und des Euphrats, den ältesten Stätten der Kultur, haben sich auch die ersten Kenntnisse entwickelt, welche sich über die Ergebnisse der oberflächlichen Betrachtung und naiven Anschauung erhoben. Durch die Berührung mit den in Ägypten und Vorderasien entstandenen Elementen entzündete sich alsdann der prometheische Funke, welcher in den Griechen schlummerte. Ihnen gelang es, diese Elemente nicht nur in sich aufzunehmen, sondern sie durch eigenes Forschen zu vervielfältigen und den Baum der Erkenntnis zu pflanzen, welcher nach einer langen Zeit der Dürre zu dem gewaltigen Stamme erwuchs, von dem die Segnungen der heutigen Kultur in erster Linie ausgegangen sind.

Die Entwicklung der Naturwissenschaften ist seit der frühesten Zeit mit dem Fortschreiten des mathematischen Denkens Hand in Hand gegangen. Auch in dieser Hinsicht sind die ersten Regungen auf die Ägypter und die Chaldäer zurückzuführen. Nach einer Erzählung Herodots[1]) entsprang für die Ägypter die Notwendigkeit, die Geometrie zu erfinden, aus dem Umstande, daß die Grenzen ihrer Ländereien durch die jährlichen Überschwemmungen des Nils verwischt wurden und deshalb durch Vermessung wiederhergestellt werden mußten. Welche Bewandtnis es auch mit diesem Bericht des griechischen Geschichtsschreibers haben mag, jedenfalls wird die Geometrie der frühesten Kulturvölker aus den Bedürfnissen des Lebens hervorgegangen sein. Für das ehrwürdige Alter der Mathematik in Ägypten spricht auch die von dort stammende älteste Urkunde dieser Wissenschaft[2]). Es ist dies eine Art Handbuch für den praktischen Gebrauch, welches um das Jahr 2000 v. Chr. verfaßt wurde und neben zahlreichen arithmetischen Aufgaben, bei denen schon die Bruchrechnung Anwendung findet, auch die erste Behandlung arithmetischer und geometrischer Reihen, Flächenberechnungen der einfacheren Figuren, wie sie für die Absteckung der Felder in Betracht kommen, sowie die Bestimmung des Rauminhalts von Fruchtspeichern enthält. Sogar die Quadratur des Kreises findet sich in diesem Papyrus. Letztere wird in der Weise bewerkstelligt, daß man über dem um $^1/_9$ verminderten Durchmesser ein Quadrat errichtet. Daraus würde sich für π der Wert 3,160 (statt 3,141) berechnen. Wie der Verfasser zu seinem Ergebnis gelangte, ist indessen nicht ersichtlich.

Die in Vorderasien und Unterägypten entstandenen Grundlagen wurden von den Phöniziern aufgenommen, welche sie, als das wichtigste Handelsvolk der alten Welt, den übrigen Anwohnern des Mittelmeeres überbrachten. Bei den Griechen fielen diese aus dem Orient stammenden Keime auf einen fruchtbaren Boden. Die Phönizier brachten ihnen auch als das wichtigste Mittel für jede weitere Entfaltung wissenschaftlicher Tätigkeit die Buchstaben-

1) Herodot II, 109.

2) Der Papyrus Rhind des Britischen Museums in London, welchen der Schreiber Ahmes des Hyksoskönigs Ra-a-us verfaßte. Die Entstehung dieser Schrift fällt zwischen 1700 und 2000 v. Chr. Das Dokument wurde übersetzt und erläutert herausgegeben von Eisenlohr, Leipzig 1877. Eine eingehende Besprechung seines Inhalts findet sich in M. Cantors Vorlesungen über Geschichte der Mathematik, Leipzig 1880. Bd. I, S. 19—52.

schrift, welche sich aus den, Silben und ganze Wörter bezeichnenden, Hieroglyphen entwickelt hatte.

Sobald die Griechen aus dem Dunkel der Sage in das Licht der Geschichte treten, begegnet uns bei ihnen das Bestreben, die Erscheinungswelt nicht bloß betrachtend in sich aufzunehmen, sondern sie auch in ihrem ursächlichen Zusammenhange zu begreifen. Dies geschieht einmal dadurch, daß sie die Anfänge der mathematischen Erkenntnis auf die Naturvorgänge anzuwenden suchen, zum andern aber auch, indem sie, weit über jedes verständige Ziel hinausschreitend, sofort den letzten Grund alles Geschehens zu begreifen trachten. Es ist bezeichnend, daß diese ersten Regungen des wissenschaftlichen Denkens nicht im eigentlichen Hellas, sondern in den ionischen Kolonieen auftraten, welche zwischen den älteren Sitzen der Kultur und dem jungfräulichen Boden Griechenlands eine vermittelnde Stellung einnahmen und schon einige Jahrhunderte früher ihre Blütezeit auf dem Gebiete der Dichtkunst erlebt hatten.

Als den ersten Griechen, der in den beiden soeben gekennzeichneten Richtungen zu wirken suchte, nennt uns die Geschichte den Thales von Milet. Obgleich von Thales herrührende Werke nicht auf uns gekommen sind und er seine Lehren wahrscheinlich auch nur mündlich überliefert hat, sind uns doch letztere, sowie seine Entdeckungen und sein Lebensgang durch die Aufzeichnungen alter Schriftsteller hinlänglich bekannt geworden, um uns ein ungefähres Bild von diesem Manne machen zu können.

Thales wurde um 640 v. Chr. geboren, wirkte also zu der Zeit, als der athenische Staat durch Solon erst die Grundlagen seiner Verfassung erhielt. Darin, daß er in Ägypten gewesen und dort mit der Priesterkaste, damals der Hüterin aller mathematischen und astronomischen Kenntnisse, in Berührung getreten sei, stimmen alle Berichte überein. „Thales, der nach Ägypten ging", so wird uns erzählt, „brachte zuerst die Geometrie nach Hellas. Vieles entdeckte er selbst, von vielem aber überlieferte er die Anfänge seinen Nachfolgern"[1]. An anderer Stelle heißt es von ihm: „Er beobachtete den Himmel, musterte die Sterne und sagte öffentlich allen Miletern vorher, daß am Tage Nacht eintreten, die Sonne sich verbergen und der Mond sich davor legen werde"[2].

---

1) Cantor, Geschichte der Mathematik. Leipzig 1880. I. S. 113.

2) A. a. O. S. 114.

Diese Vorausbestimmung einer Sonnenfinsternis ist jedoch nicht etwa eine solche im heutigen Sinne; sie erfolgte nämlich nicht durch Rechnung, sondern beruht ausschließlich auf der Beobachtung derjenigen Periode, innerhalb welcher die Finsternisse regelmäßig wiederkehren. Jene Periode war den Babyloniern nicht entgangen. Letztere waren im Besitz von Aufzeichnungen, welche sich über Jahrhunderte erstreckten und einen Zeitraum von 6585 Tagen bezüglich der regelmäßigen Wiederkehr der Finsternisse erkennen ließen. Wie unentwickelt im übrigen die astronomischen Vorstellungen des Thales noch waren, geht daraus hervor, daß nach seiner Lehre die Erde eine vom Okeanos umflossene Scheibe ist, über welcher sich der Himmel wie eine Krystallglocke wölbt. Unter solchen Umständen konnte noch nicht einmal von einer Kreisbewegung der Gestirne die Rede sein. In Übereinstimmung mit dieser Lehre nahm denn auch Thales an, die Sterne sänken bei ihrem Untergang in den Ozean und schwämmen in diesem am Rande der Scheibe entlang zu ihren Ausgangspunkten zurück.

Auf Thales werden ferner von den Griechen, welche über die Mathematik geschrieben haben, einige der wichtigsten geometrischen Sätze zurückgeführt: so der Satz, daß die Winkel an der Grundlinie eines gleichschenkligen Dreiecks gleich sind, sowie daß ein Dreieck durch eine Seite und die anliegenden Winkel bestimmt ist, ein Satz, mit dessen Hilfe z. B. die Entfernung der Schiffe vom Lande ermittelt wurde. Bezüglich der geometrischen Kenntnisse des Thales läßt sich jedoch nicht mehr entscheiden, wieviel Eigenes und wieviel von den Ägyptern Entlehntes darunter ist. Eine bekannte Anwendung der Mathematik ist seine Schattenmessung. Es ist dies ein Verfahren, die Höhe hervorragender Gegenstände zu bestimmen, durch welches er die Bewunderung seiner Zeitgenossen erregt haben soll. Es bestand darin[1]), daß er zu der Zeit, wenn der Schatten gleich der Höhe der Körper ist, was er an einem Stock ermittelte, den Schatten des betreffenden Gegenstandes, z. B. einer Pyramide, maß, womit auch sofort die Höhe des Gegenstandes gefunden war. Mit dem Gnomon, einem Werkzeug, das zur Bestimmung des Mittags aus der Schattenlänge diente, sollen die Griechen durch Anaximander, den bedeutendsten Schüler des Thales, bekannt geworden sein. Die Beschäftigung mit natürlichen Dingen, zu welcher Thales bei den Ioniern allen Nach-

[1]) Nach Plutarch, Vol. III pag. 174, ed. Didot, sowie nach Plinius XXXVI, 12.

richten zufolge den Anstoß gab — nennt ihn doch Aristoteles den „Beginner" der philosophischen Naturforschung[1]) — rief nun auch ein Suchen nach einer ursächlichen Erklärung der gesamten Erscheinungswelt hervor. Eine derartige, auf den letzten Gründen fußende Erklärung ist seitdem das Ziel der Philosophie gewesen, ohne daß sie, wie es in der Natur der Sache liegt, jemals zu einer befriedigenden Lösung eines so weit gespannten Problems gelangt wäre. Thales und seinen Nachfolgern, die sich über den Begriff des Stofflichen kaum zu erheben vermochten, genügte schon die Annahme, daß alle Erscheinungsformen auf einen einzigen Urstoff zurückzuführen seien. Als solcher dünkte dem Thales nichts geeigneter als das Wasser, weil es ihm, nach seinen Eigenschaften zu urteilen, zwischen der Erde und der Luft zu stehen schien. Eine Stütze fand diese Lehre in gewissen Beobachtungen. Wurde doch z. B. der Boden Ägyptens, aus welchem Lande viele Anschauungen des Thales stammten, als ein Produkt des Niles angesehen. Entwickelten sich nicht ferner aus der feuchten Erde die Pflanzen? Selbst als man später genauer beobachten lernte, hat jene Lehre immer wieder Anhänger gefunden. Van Helmont, ein hervorragender Forscher des 17. Jahrhunderts, war noch in ihr befangen. Erst Lavoisier und Scheele, welche an der Schwelle der neuesten Zeit stehen, vermochten den Glauben an die Umwandlung des Wassers in Erde, der stets wieder auf mangelhafte Beobachtungen gestützt wurde, durch einwandfreie Versuche endgültig zu widerlegen.

Das Streben nach einer Erklärung der Welt hat seit der Zeit des Thales nicht aufgehört, die hervorragendsten Geister zu beschäftigen. Hier ist es nur insofern von Belang, als die Ergebnisse des philosophischen Denkens einen Einfluß auf den weiteren Fortgang der Naturwissenschaft ausgeübt haben. Letztere steckte sich alsbald das bescheidenere, aber erreichbare Ziel, einen Einblick in den gesetzmäßigen Zusammenhang der Erscheinungen zu erlangen. In dem Maße, wie man dieses Ziel ins Auge faßte, hat sich die Beseitigung phantastischer Auswüchse vollzogen, wie sie in der Alchemie und Astrologie z. B. zum Ausdruck kamen, und in demselben Maße näherte sich die Wissenschaft ihrer jetzigen Gestalt.

Hat die philosophische Betrachtung auch keine ähnlichen Ergebnisse aufzuweisen, wie wir sie den exakten Wissenschaften verdanken, so gebührt ihr doch unleugbar das Verdienst, die empirische

---

[1]) Aristoteles, Metaphysika I, 3.

Forschung ununterbrochen angeregt zu haben. Die philosophischen Ansichten, welche das griechische Altertum entwickelte, bildeten selbst in späteren Zeiten oft den Leitstern für naturwissenschaftliches Forschen. So hat sich das Bestreben, die Mannigfaltigkeit der Stoffe auf einen einzigen Urstoff zurückzuführen, bis in die neueste Zeit hinein fortgesetzt. Zunächst wurde von den ionischen Philosophen eine der bekannten Materien, wie die Luft[1]) oder das Wasser, zu einem solchen gestempelt. Später faßte Aristoteles Luft, Wasser, Erde und Feuer als die verschiedenen Erscheinungsformen eines und desselben Urprinzips auf. Infolgedessen hielt man eine Verwandlung der bekannten Stoffe ineinander für möglich. Und so war es besonders die aristotelische Philosophie, auf welche sich im Mittelalter das Bemühen, unedle Metalle in edle überzuführen, stützen konnte.

Hatte man zuerst die Stoffumwandlungen, denen man auf Schritt und Tritt begegnete, als ein Entstehen und Vergehen aufgefaßt, so waren es Philosophen, welche lehrten, daß alle Veränderungen auf ein Mischen und Entmischen zurückzuführen seien und daß dabei die Materie weder sich bilde noch vernichtet werde. Dem philosopischen Denken entsprang ferner die Vorstellung, daß der Stoff aus kleinsten Teilchen bestehe, durch deren Umlagerung jenes Mischen und Entmischen bedingt sei — beides Grundsätze, deren sich die Naturforschung bemächtigte, um sie als Leitsterne bei ihren auf die denkende Erfassung des Erfahrungsstoffes gerichteten Bemühungen zu verwerten. Wir werden sehen, wie die Lehre Demokrits von der atomistischen Zusammensetzung der Welt später durch Dalton wieder ins Leben gerufen und die Mechanik der Atome allen Naturerscheinungen zu Grunde gelegt wurde.

Eine weitere Tat der alten Philosophie bestand in der Aufstellung und Durchführung des Zweckbegriffs durch Anaxagoras, dessen Lehre in den platonischen Ideen ihre Fortsetzung fand. Erwies sich der Begriff der Zweckmäßigkeit auf den späteren Entwicklungsstufen der Wissenschaft auch als unzureichend, so war er doch für die Naturforschung des Altertums von Bedeutung und bei dem Ausbau des das Wissen jener Zeit umfassenden aristotelischen Lehrgebäudes das eigentlich Treibende.

In gleichem Maße, wie die ersten philosophischen Bestrebungen anregend auf die Forschung gewirkt haben, war dies auch hin-

---

1) Durch Anaximenes.

sichtlich der Mathematik der Fall. Zu der Erkenntnis, daß nur durch Vereinigung der mathematischen mit der experimentellen Behandlung Aussicht auf eine Lösung der naturwissenschaftlichen Probleme vorhanden sei, sollte jedoch erst die neuere Zeit gelangen. Es ist ein wesentlicher Mangel der Alten, welche die Mathematik wohl zu handhaben wußten, daß sie sich nicht in gleichem Maße für die Ausübung des Experiments befähigt zeigten. Mannigfache Gründe sind hierfür ins Feld geführt worden. Einer der gewichtigsten bestand wohl in dem Überschätzen der reinen Geistestätigkeit jeder Beschäftigung mit materiellen Dingen gegenüber. Auch der Umstand, daß die Ausübung gewerblichen Schaffens eines freien Mannes unwürdig galt und in die Hand der Sklaven gelegt wurde, war dem Entstehen der experimentellen Forschungsweise in hohem Grade hinderlich.

Wenn wir die Entwicklung der Mathematik, welche hier gleich den Ergebnissen der Philosophie nur soweit in Betracht gezogen werden kann, als sie die Naturwissenschaften unmittelbar beeinflußt hat, nach ihren ersten, an ägyptische und babylonische Elemente anknüpfenden Schritten weiter verfolgen, so richtet sich unser Blick von Ionien nach einem anderen Hauptsitz hellenischer Bildung, nämlich nach Großgriechenland. Hatte man den Wert der mathematischen Betrachtungsweise in Ionien überhaupt erst schätzen gelernt, so finden wir hier bei Pythagoras und seinen Anhängern eine beträchtliche Überschätzung derselben. Wichtig ist indes vor allem, daß auch im übrigen Griechenland Männer auftraten, die in der denkenden Betrachtung der Welt ihre Lebensaufgabe erblickten. Als einer der ersten wird uns Pythagoras genannt. Da indes von seinem Leben fast nichts verlautet und auch keine von ihm herrührende Schrift auf uns gekommen ist, so tritt uns in Pythagoras wie in Thales eine sagenumwobene Gestalt entgegen.

Pythagoras wurde um das Jahr 550 v. Chr. in Samos geboren. Über die Gründung seiner Schule gehen die Nachrichten sehr auseinander, doch läßt sich annehmen, daß er sich vorher gleich Thales in Ägypten, vielleicht auch in Babylon[1]) aufgehalten. Auch in diesem Falle würde es sich also um eine Verpflanzung orientalischer Weisheit auf den ihrer weiteren Entwicklung günstigen Boden Großgriechenlands gehandelt haben.

Pythagoras und seine Schüler gingen, mehr vorahnend als in wirklicher Erkenntnis, von der Voraussetzung aus, daß eine durch

[1]) Cantor, Geschichte der Mathematik, 1880. Bd. I. 128 u. 158.

Maß und Zahl bestimmte Gesetzmäßigkeit alles natürliche Geschehen beherrsche. In einseitiger Übertreibung dieses Grundgedankens erblickten sie dann in den Zahlen den ursächlichen Grund der Erscheinungswelt.

Den Pythagoreern verdankten die Griechen — wobei sich indes nicht unterscheiden läßt, was selbst gefunden und was an fremden Elementen aufgenommen wurde — die Sätze über die Winkelsumme im Dreieck, über die Kongruenz der Dreiecke, den sogenannten pythagoreischen Lehrsatz, sowie die Kenntnis des goldenen Schnitts; ferner die ersten Kenntnisse der Stereometrie, insbesondere der fünf regelmäßigen Körper und der Kugel. Ebenso wurde in der Arithmetik eine Grundlage geschaffen, welche den raschen Aufschwung, den die Mathematik darauf in Griechenland erfuhr, ermöglichte. Einige Jahrhunderte unausgesetzter Pflege dieser Wissenschaft, mit der sich auch die hervorragendsten unter den Philosophen, wie Plato und Aristoteles, beschäftigten, genügten nämlich, um in den Werken des Apollonios und des Archimedes Leistungen heranreifen zu lassen, welche noch heute Bewunderung erregen. Zumal in der Hand des letzteren wurde die Mathematik zu einem Werkzeug, mit welchem ihm die Bewältigung mancher physikalischen Aufgabe gelang.

Nachdem wir der frühesten Regungen des philosophischen und des mathematischen Denkens Erwähnung getan, wenden wir uns den ersten naturwissenschaftlichen Problemen zu, an denen sich das letztere erproben sollte. Die am Himmel sich abspielenden Vorgänge waren es, welche zuerst den Begriff einer von Gesetz und Regel beherrschten Erscheinung aufkommen ließen. Es ist daher kein Zufall, daß man sich diesen Vorgängen vor allen anderen mit forschendem Blicke zuwandte, und daß die Astronomie neben der Mathematik zu den ersten Betätigungen des menschlichen Geistes gehört, welche Anspruch auf den Namen einer Wissenschaft erheben können. Aber auch auf diesem Gebiete sind die Griechen nicht die Urheber, sondern in hohem Maße von den seitens der Babylonier und Ägypter geschaffenen Grundlagen abhängig gewesen.

Die frühesten astronomischen Eindrücke, denen sich der Mensch selbst auf der tiefsten Stufe seiner Entwicklung nicht entzogen haben kann, sind die scheinbare tägliche Bewegung der Gestirne, die im steten Wechsel sich wiederholenden Lichtgestalten des Mondes, sowie die scheinbare jährliche Bewegung der Sonne mit dem dadurch bedingten Kreislauf der Jahreszeiten. Einer etwas aufmerksameren Beobachtung konnte es dann nicht

entgehen, daß die Mehrzahl der Sterne ihre Stellung zu einander nicht verändert, während die Sonne, der Mond und die bald in die Augen fallenden Wandelsterne an dem Fixsternhimmel vorüberziehen. Betreffs des Tagesgestirns machte sich diese Erscheinung darin bemerklich, daß hervorragende Sterne bald in der Nähe der untergehenden Sonne gesehen wurden, dann in ihren Strahlen verschwanden, um nach kurzer Zeit vor der aufgehenden Sonne zu erscheinen und schließlich wieder in der Nacht zu glänzen. Auch eine Einteilung des Fixsternhimmels in Sternbilder hat frühzeitig stattgefunden. So gelangte man zu der Erkenntnis, daß die Sonne im Laufe einer Periode, welche sich mit demjenigen Zeitraum deckt, innerhalb dessen sich die Jahreszeiten abspielen, ihren Umlauf am Himmel vollendet. Diejenigen Sternbilder, durch welche sich das Tagesgestirn dabei hindurchbewegt, nannte man den Tierkreis. Eine Darstellung des letzteren wurde im Anfange des 19. Jahrhunderts in Dendera (Oberägypten) an der Decke eines Tempels aufgefunden [1]).

Die Dauer eines Umlaufs der Sonne wurde in Ägypten anfangs zu 360, später jedoch zu 365 Tagen gerechnet. Aber auch bei dieser Annahme bemerkte man nach längerer Zeit, daß das Jahr zu kurz bemessen wurde und infolgedessen eine Verschiebung der Feste eintrat. Diese Beobachtung führte dann zu einer 238 v. Chr. in Kraft tretenden Anordnung [2]), nach welcher jedes vierte Jahr zu 366 Tagen angenommen werden sollte, „damit es nicht vorkomme, daß einige der öffentlichen Feste, welche man im Winter feiert, einstens im Sommer gefeiert werden“.

Die Ägypter sind also dasjenige Volk, denen wir die Einrichtung des Schaltjahres verdanken; und es ist sehr wahrscheinlich, daß die astronomischen Ratgeber, welche Julius Cäsar bei seiner Kalenderverbesserung vom Jahre 46 v. Chr. zu Rate zog, um die in Ägypten allerdings wieder in Vergessenheit geratene Einrichtung gewußt haben. Dieser Umstand schmälert jedoch keineswegs das Verdienst Cäsars; ihm verdankt das Abendland eine dauernde Feststellung der Zeitrechnung, welche so sehr in Unordnung geraten war, daß im Jahre 46 v. Chr. nicht weniger als 85 fehlende Tage eingeschaltet werden mußten.

---

1) Dieser Tierkreis von Dendera wird in der Nationalbibliothek zu Paris aufbewahrt.

2) R. Lepsius, das bilingue Dekret von Kanopus. Berlin 1866. Die betreffende Inschrift wurde von Lepsius im Jahre 1866 in Unterägypten gefunden.

Noch älter als die auf dem scheinbaren Lauf der Sonne beruhende Zeitrechnung ist die andere, welcher die Bewegung des Mondes zu grunde gelegt wird. Man sah dieses Gestirn in rascher Folge einen Wechsel von Lichtgestalten durchlaufen und gelangte so zur Aufstellung des synodischen Monats, dessen Dauer 29 Tage, 12 Stunden und 44 Minuten beträgt. Es ist nun sehr wahrscheinlich, daß der erste Versuch, die Rechnung nach Mond und Sonne zu regeln, zur Festsetzung eines Zeitraums von 12 Monaten zu 30 Tagen geführt hat. Ein solcher Kalender konnte den Bedürfnissen, da er dem tatsächlichen Verlauf der himmlischen Bewegungen zu wenig entsprach, jedoch nicht lange genügen. Der nächste Schritt bestand deshalb darin, daß man den Monat abwechselnd zu 29 und 30 Tagen rechnete. Dadurch wurde das Jahr aber auf 354 Tage verkürzt. Mit diesem Abschnitt rechneten die Griechen, bis Solon den bedeutenden Ausfall, welchen man erlitten hatte, dadurch ausglich, daß er jedem zweiten Jahre einen vollen Monat von 30 Tagen zulegte. Auf das Jahr kamen somit im Mittel $\frac{2 \,.\, 354 + 30}{2} = 369$ Tage, was immer noch eine starke Abweichung von der wirklichen Dauer bedeutete. Die Verwirrung, in welche der Kalender der Griechen schließlich geraten war, hat ihr großer Lustspieldichter Aristophanes[1]) dadurch verspottet, daß er den Mond über einen solch unhaltbaren Zustand sich beschweren ließ. Dem athenischen Mathematiker Meton gelang endlich die Beseitigung dieses Wirrsals. Er führte nämlich 433 v. Chr. einen Cyklus ein, welcher 19 Jahre und innerhalb dieses Zeitraums 125 volle und 110 leere Monate umfaßte, so daß das Jahr $= \frac{125.30 + 110.29}{19}$ $= 365{,}263$ Tage enthielt, während der wahre Wert des Sonnenjahres sich auf 365,242 Tage beläuft.

Während die Entdeckung der größeren Planeten aus der Veränderung ihrer Stellung zu den Fixsternen auf den ersten Blick erfolgen mußte, setzte die Auffindung des Merkur, welcher sich um höchstens 27 Grade von der Sonne entfernt und daher in höheren Breiten nur in der Dämmerung mit guten Augen wahrzunehmen ist, schon eine größere Aufmerksamkeit voraus. Auch der Saturn wird wegen seines langsamen Fortrückens erst verhältnismäßig spät als Wandelstern bekannt geworden sein. Eine systematisch geordnete Reihe von Beobachtungen gehörte ferner

1) Aristophanes, Wolken 615—619.

dazu, die Zeiten festzustellen, innerhalb deren die Planeten zu demselben Sternbilde zurückkehren. So gelangte man zu der Erkenntnis, daß Mars in 2, Jupiter in 12, Saturn dagegen erst in 30 Jahren ihren Weg am Fixsternhimmel vollenden.

Größere Schwierigkeiten boten die innerhalb der Erdbahn befindlichen Planeten Merkur und Venus dar. Da sie jedoch stets in der Nähe der Sonne erscheinen, so mußten sie der geozentrischen Vorstellung gemäß etwa dieselbe Umlaufszeit wie dieses Gestirn besitzen. Als Grund dieser sämtlichen Unterschiede nahm man dann einen verschieden großen Abstand der Himmelskörper von der im Mittelpunkte ruhend gedachten Erde an. Saturn, dessen Umlauf die längste Zeit erfordert, mußte dementsprechend auch am weitesten von der Erde entfernt sein, während der Mond, welcher zwölfmal in einem Jahre seinen Umlauf vollendet, als der dem Mittelpunkte am nächsten befindliche Himmelskörper galt. Aristoteles gelangt daher zu dieser Reihenfolge: Mond, Sonne, Merkur, Venus, Mars, Jupiter, Saturn. Die Pythagoreer und mit ihnen Plato, der häufig in ihre Fußstapfen trat, legten sich nun auch die Frage nach dem Verhältnis jener Abstände vor. Sie bewegten sich hierbei jedoch auf dem Gebiet der bloßen Zahlenmystik. Da sie bei ihren akustischen Untersuchungen auf einfache Beziehungen zwischen den Längen harmonisch tönender Saiten gestoßen waren, hielten sie sich für berechtigt, auch am Himmel solche einfachen Verhältnisse ohne weiteres vorauszusetzen. Durch ihr Obwalten sollte dann, ähnlich wie im Reiche der Töne, eine Konsonanz entstehen. Man dachte sich nämlich, jeder Planet rufe als ein in rascher Bewegung befindlicher Körper einen Ton hervor. So nahm Plato an, daß sich Mond, Sonne, Venus, Merkur, Mars, Jupiter, Saturn in Abständen von der Erde befänden, die sich wie 1 : 2 : 3 : 4 : 8 : 9 : 27 verhielten. Dies verursache die Harmonie der Sphären. Über die Entfernung der Fixsterne dagegen läßt Plato nichts verlauten.

Derartige Spekulationen, so überflüssig sie auch nach der Entdeckung der tatsächlich obwaltenden Verhältnisse erscheinen mögen, sind für die Entwicklung der astronomischen Wissenschaft durchaus nicht ohne Belang gewesen. Sie waren es, die zu Versuchen anregten, die Richtigkeit der angenommenen Werte zu prüfen, und wir werden sehen, auf welche Weise in der nächstfolgenden, schon der Messung zugewandten Epoche der griechischen Astronomie die Lösung dieser Aufgabe angestrebt wurde. Zu allen Zeiten hat der Weg der Forschung darin bestanden, daß auf einer

gewissen Stufe der Erkenntnis Hypothesen ersonnen wurden, an welche sich die weiteren Versuche behufs einer Prüfung anschlossen. Auch als später Keppler das Problem, welches wir jetzt verlassen, wieder aufnahm, trat er mit der vorgefaßten Meinung an dasselbe heran, daß, wie so manches in der Natur, auch die Planeten nach einfachen Verhältnissen geordnet sein müßten. Auch ist das von den Pythagoreern aufgeworfene Problem bis in die neueste Zeit eine der fundamentalen Aufgaben geblieben, welche die Astronomie mit immer größerer Genauigkeit zu bewältigen strebt.

Gleichzeitig mit den ersten Beobachtungen und Spekulationen über die Himmelskörper beginnt die Frage nach der Beschaffenheit unseres Wohnsitzes den forschenden Geist zu beschäftigen. Lange dauerte es, bis man sich von dem Eindruck, daß die Erde eine kreisförmige Scheibe sei, losgerungen hatte. Homer und Hesiod waren noch darin befangen. Letzterer läßt die Sonne während der Nacht im Ozean nach Kolchis schwimmen, wo sie sich frühmorgens, angekündigt durch die rosenfingrige Eos, wieder erhebt. Der Himmel selbst ist ein Gewölbe von solcher Höhe, daß ein Amboß von dort neun Tage und neun Nächte fallen soll, bis er die Erde erreicht.

Dieser naive Standpunkt wird verlassen, sobald der geographische Gesichtskreis sich erweitert. Es mußte z. B. auffallen, daß hervorragende Fixsterne, wie Kanopus, welche in Ägypten in der Nähe des Horizonts gesehen werden, in Griechenland nie erscheinen. Nachdem schon Anaximander die Kugelgestalt der Erde vermutet hatte[1]), wurde sie von Aristoteles gelehrt und mit Gründen belegt. Außer dem Verschwinden von Fixsternen unter gleichzeitigem Auftauchen neuer Sterne, eine Erscheinung, welche man bei Ortsveränderungen in der Richtung des Meridians wahrnahm, führt Aristoteles noch an, daß der Erdschatten bei Mondfinsternissen dem Auge stets kreisförmig erscheine, was nur unter der Voraussetzung möglich sei, daß dieser Schatten von einer Kugel herrühre[2]).

Die Überzeugung, daß die um das Mittelmeer gelegenen Länder nur einen kleinen Teil der Erde ausmachen, hatte schon vor Aristoteles Platz gegriffen. So läßt Plato den Sokrates im Phaedon sagen[3]): „Die Erde ist sehr groß; wir, die wir von dem

---

1) Aristoteles, de coelo, II, 13.

2) l. c. II, 13.

3) Platons Phaedon. cap. 58. Leipzig, Wilhelm Engelmann. 1852.

Phasis bis zu den Säulen des Herkules wohnen, haben davon nur einen kleinen Teil um das Mittelmeer herum inne, wie Ameisen oder Frösche um einen Sumpf, während andere Menschen viele andere ähnliche Räume bewohnen.“ In derselben Schrift Platos heißt es, die Erde schwebe in der reinen Himmelsluft oder dem Äther und sei, von ferne betrachtet, einem Balle ähnlich.

Bei Plinius finden wir als weiteren Grund für die Krümmung der Erdoberfläche angeführt, daß auf dem Meere zuerst der Mast der Schiffe und erst später der Rumpf sichtbar wird.

Während zur Zeit der römischen Weltherrschaft die Lehre von der Kugelgestalt der Erde zu einem Gemeingut der Gebildeten geworden war, hat man im Altertum nur vereinzelt eine richtige Auffassung vom Verhältnis der Sonne zu den Planeten gehegt. Doch wurden die Keime der heliozentrischen Lehre gleichfalls schon in diesem Zeitalter gebildet, so daß Kopernikus seine Erklärung unmittelbar an die aus dem Altertum überlieferten Anschauungen anknüpfen konnte.

Vor allem gab es eine Lehre, welche den Ägyptern zugeschrieben wurde und von der Kopernikus nach seinen eigenen Worten sehr wohl wußte, die Lehre nämlich, daß Merkur und Venus, welche immer in der Nähe der Sonne gesehen werden, um dieses Gestirn kreisen [1]. Von hier aus konnte man leicht zu einer richtigen Auffassung des gesamten Systems gelangen, wenn man die Sonne zum Mittelpunkt auch der Bewegungen der übrigen Planeten machte. Sieht man von den heute schwer sicher zu stellenden Spekulationen der Pythagoreer ab, so war es vor allem Aristarch, der die heliozentrische Weltansicht mit voller Klarheit aussprach. Ihn soll die Überzeugung, daß die Sonne weit größer als die Erde und der Mond sei, zur Aufstellung seines Systems geführt haben. Gegen das Ende der ersten, etwa bis Aristoteles reichenden Periode der griechischen Astronomie begann die Spekulation zu überwuchern. Zum Glück traten jedoch bald darauf in der alexandrinischen Schule und im Zusammenhange mit dieser Männer auf, welche den überkühnen Geistesflug verschmähten und sich mit nüchternem Sinne der Erforschung der Himmelserscheinungen zuwandten. Die Astronomie schreitet jetzt von dem wesentlich beobachtenden und auf Grund mangelhafter Beobachtung philosophierenden Zeitalter zu dem messenden fort und erhebt sich damit auf die Stufe einer Wissenschaft im

[1]) Siehe Bd. I, S. 22.

strengeren Sinne des Wortes. Als diejenigen, welche zuerst diesen Weg beschritten haben, sind die Alexandriner Aristill und Timocharis und vor allem der schon erwähnte Aristarch von Samos zu nennen. Mit der Forschertätigkeit dieser Männer heben zwei Probleme an, welche seitdem den menschlichen Geist beschäftigt haben und mit immer größerer Schärfe ihrer Lösung zugeführt worden sind. Es sind dies die Topographie des Fixsternhimmels, d. h. die genaue Bestimmung möglichst vieler Sternörter, sowie die Ermittlung der Abmessungen der Erde und unseres Planetensystems, zunächst der Entfernung der Sonne und des Mondes.

Die genannten Alexandriner, welche ihre Beobachtungen um das Jahr 300 v. Chr. anstellten, bedienten sich schon der Armillen, d. h. geteilter Kreise, von denen der eine im Äquator lag, während der andere um die Weltachse gedreht werden konnte. Mit Hülfe dieses Apparats bestimmten sie die Lage einzelner Sterne, indem sie nicht nur ihre Deklination oder den Bogenabstand vom Äquator ermittelten, sondern auch den Ort der Sterne auf den Frühlingspunkt bezogen. Das von ihnen herrührende Verzeichnis gab dann 150 Jahre später dem Hipparch die Möglichkeit, das Vorrücken der Nachtgleichen zu entdecken[1].

Wenden wir uns jetzt dem Aristarch zu, einem der geistig bedeutendsten Männer seiner Zeit, von dessen Lebensschicksalen indes keine näheren Nachrichten auf uns gelangt sind. Man weiß nur, daß er um das Jahr 270 v. Chr. in Samos geboren wurde. Das einzige, was von seinen Schriften erhalten blieb, ist eine Abhandlung, welche von der Größe und den Entfernungen des Mondes und der Sonne handelt[2]. Die Abstände dieser Weltkörper von der Erde verhalten sich nach Aristarch wie 1 : 19, während das wahre Verhältnis annähernd 1 : 400 ist. Zu seinem Ergebnis gelangte Aristarch durch folgende Überlegung. Erscheint von einem Punkte E der Erde (siehe Abb. 1) der Mond genau zur Hälfte von der Sonne beleuchtet, so bildet jener Punkt E mit den Mittelpunkten des Mondes und der Sonne ein rechtwinkliges Dreieck, in welchem der Abstand des Mondes eine Kathete und die Entfernung der Sonne die Hypotenuse bildet. Der Winkel bei E mißt nun nach Aristarch 87^0, während er in Wahrheit

---

[1]) Siehe an späterer Stelle ds. Bds.

[2]) Aristarchos, über die Größen und Entfernungen der Sonne und des Mondes. Übersetzt und erläutert von A. Nokk. Als Beilage zu dem Freiburger Lyceumsprogramm von 1854.

viel weniger von einem Rechten abweicht und sich auf 89° 50′ beläuft. Das gesuchte Verhältnis, welches Aristarch auf mühsame Weise in die Grenzen 1 : 18 und 1 : 20 einschloß, ist gleich dem Cosinus des Winkels bei E, unter dem beide Weltkörper in dem angegebenen Falle von der Erde aus gesehen werden (EM : ES, siehe Abb. 1).

Der Weg, auf welchem Aristarch sein Problem zu lösen suchte, ist theoretisch genommen zwar einwandfrei. Daß sich trotzdem ein Resultat ergab, welches von dem heute gültigen Wert in solch erheblichem Maße abweicht, ist aus mehreren Umständen zu erklären. Einmal war man zu jener Zeit noch nicht im stande, solch kleine Winkelunterschiede, um welche es sich hier handelte, zu messen; zum anderen aber besitzt die gesuchte Grenze zwischen

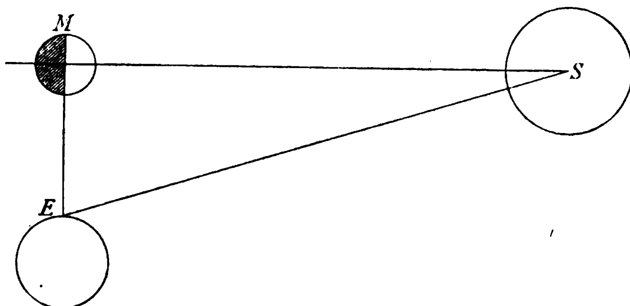


Abb. 1. Aristarchs Verfahren, die Entfernung des Mondes und der Sonne zu bestimmen.

dem beleuchteten und dem dunklen Teil des Mondes keine hinlängliche Schärfe. Immerhin verdiente Aristarch in vollem Maße die Anerkennung, welche ihm das Altertum dieser Bestimmung wegen zollte. Daß er auch schon die heliozentrische Theorie 1½ Jahrtausende vor Kopernikus klar aussprach, geht aus einer im I. Bande wiedergegebenen Stelle des Archimedes hervor[1]).

Auch die Raumverhältnisse der Weltkörper berechnete Aristarch. So fand er, daß der Mond etwa 30 (statt 48) mal so klein, die Sonne dagegen 300 (statt 1300000) mal so groß wie die Erde sei[2]).

---

1) Bd. I, S. 13.

2) Aristarch, Über die Größen u. s. w., Lehrsatz 16—18.

Nachdem man erkannt, daß die Erde die Gestalt einer Kugel besitzt, lag der Gedanke nahe, die Größe dieser Kugel zu bestimmen. Der Ruhm, den richtigen Weg zu einer solch kühnen Messung gewiesen und auf ihm ein im Verhältnis zu den vorhandenen Mitteln hinreichend genaues Ergebnis gefunden zu haben, gebührt dem gelehrten Bibliothekar der alexandrinischen Bibliothek, dem um die Begründung der Erd- und Himmelskunde hoch verdienten Eratosthenes[1]. Bei größerer Ausdehnung der Reisen mußte es den Alten auffallen, daß die täglichen Kreise, welche bekannte Sterne beschreiben, nicht überall die gleiche Neigung zur Ebene des Horizontes besitzen. Insbesondere konnte ihnen dies nicht lange bezüglich der Sonne verborgen bleiben. So wußte Eratosthenes, daß dies Gestirn zur Zeit der Sommersonnenwende im südlichen Ägypten mittags durch den Zenith geht, während es in Unterägypten an diesem Tage einen südlich vom Zenith gelegenen Punkt durchläuft. Infolgedessen zeigte das Gnomon an dem Mittag dieses Tages zu Syene[2] keinen Schatten. Auch beobachtete man, daß die Sonne dann daselbst bis auf den Boden tiefer Brunnen hinabscheint. Anknüpfend an diese ihm bekannten Tatsachen, ging Eratosthenes bei der Lösung seiner Aufgabe von einigen Voraussetzungen aus, welche zwar nicht ganz zutreffend sind, der Wahrheit aber doch so nahe kommen, daß bei dem nur rohen Verfahren, um welches es sich

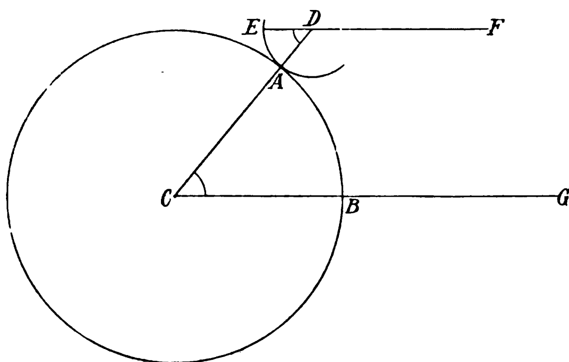


Abb. 2. Die Gradmessung des Eratosthenes.

[1] Eratosthenes wurde 275 v. Chr. zu Kyrene geboren. Ptolemäus III Euergetes berief ihn nach Alexandrien und ernannte ihn zum Bibliothekar der großen alexandrinischen Bibliothek. Des Eratosthenes Hauptwerk war seine „Erdbeschreibung", das erste wissenschaftliche Werk über die Geographie, welches indes nur aus den Anführungen bei Strabo bekannt ist. Siehe Bernhardy, Eratosthenica, Berlin 1822, eine Sammlung von Bruchstücken der Schriften des Eratosthenes. Eratosthenes starb um 194 v. Chr.

[2] Am ersten Nilkatarakt, fast unter dem nördlichen Wendekreise gelegen.

hier handelt, das Ergebnis dadurch nicht wesentlich beeinflußt wurde.

Zunächst war dies die Annahme, daß die Erde eine vollkommene Kugel sei; ferner, daß die Strahlen der Sonne, welche in Alexandrien (Abb. 2 A) und in Syene (Abb. 2 B) den Schatten erzeugen, parallel, sowie daß beide Städte auf demselben Meridian gelegen seien, während sie in Wahrheit einen Längenunterschied von mehreren Graden[1]) aufweisen.

In A befinde sich das Instrument, welches die Alten zur Bestimmung der Sonnenhöhe gewöhnlich benutzten. Es war dies (siehe Abb. 3) eine halbkugelförmige Höhlung, aus deren Mitte sich ein Gnomon erhob. Dieses Werkzeug wurde so angebracht, daß der Gnomon AD (Abb. 2) senkrecht zum Horizont stand, also die Verlängerung des Erdradius bildete. Der Winkel EDA ließ sich auf einer Gradeinteilung ablesen und war gleich dem zu messenden Bogen AB des Meridians (siehe Abb. 2). Eratosthenes fand nun EDA gleich $^1/_{50}$ des Kreisumfangs. Er schätzte ferner die Strecke Syene-Alexandrien auf 5000 Stadien. Der Umfang der Erde ergab sich somit gleich $5000 \times 50 = 250000$ Stadien, eine Größe, welche sich in heutigem Maße auf etwa 6000 geographische Meilen beläuft, indes der wahre Wert 5400 Meilen beträgt[3]). Diese wissenschaftliche Tat des Eratosthenes erregte die ungeteilte Bewunderung des Altertums, welches nur in der besprochenen Messung des Aristarch etwas ähnliches aufzuweisen hat.

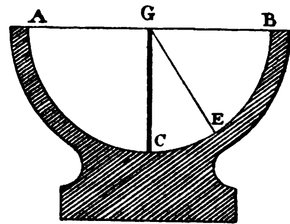


Abb. 3. Das zur Messung der Sonnenhöhe dienende Instrument der Alten[2]).

Das Nächstliegende wäre nun gewesen, mit kritischem Sinne an dieses Ergebnis heranzutreten und die Gradmessung auf einem nicht lediglich abgeschätzten, sondern genauer gemessenen Teil des Meridians zu wiederholen. Eine solche Untersuchung gelangte jedoch erst in späterer Zeit zur Ausführung[4]).

---

1) Alexandria liegt um 3° 14′ westlich von Syene.

2) Schaubach, Geschichte der griechischen Astronomie. Tab. III. Fig. 2.

3) Näheres siehe bei Lepsius, Das Stadium und die Gradmessung des Eratosthenes auf Grundlage der ägyptischen Maße, in der Zeitschrift für ägyptische Sprache und Altertumskunde, 1877, 1. Heft S. 3—8. Nach Lepsius kann es keinem Zweifel unterliegen, daß das Stadium des Eratosthenes eine Länge von 180 Metern besaß. A. a. O. S. 7.

4) Siehe an späterer Stelle ds. Bds.

Etwa zur selben Zeit, als die Astronomie heranreifte, indem sie sich von der Spekulation der messenden Beobachtung zuwandte, erhielt ein anderes Forschungsgebiet seine erste wissenschaftliche Gestalt. Es war dies die Naturbeschreibung, vor allem die Zoologie, deren Begründung ein wesentliches Verdienst des Aristoteles und seiner Schüler ist.

In Aristoteles begegnet uns eine der bedeutendsten Erscheinungen des Altertums, in der sich die Wissenschaft jenes Zeitraums gleichsam verkörperte[1]). Aristoteles war der Sprößling einer griechischen Ärztefamilie, welche am makedonischen Hofe in hohem Ansehen stand. Er wurde im Jahre 384 v. Chr. zu Stagira, einer in der Nähe des Athos gelegenen griechischen Kolonie, geboren. Seine Erziehung lag, wie es damals häufig der Fall war, in der Hand eines einzigen Mannes. Diesem seinem Lehrer bewahrte er auch im späteren Leben eine Dankbarkeit, wie sie ihm selbst wieder von seinem großen Schüler Alexander erwiesen wurde.

Der Brennpunkt des geistigen Lebens war um die Mitte des vierten Jahrhunderts v. Chr. Athen. Hier hatte Sokrates gelehrt und Plato eine blühende Philosophenschule gegründet. Was Wunder, daß der begüterte und für die Wissenschaft begeisterte Jüngling zunächst seine Schritte dorthin lenkte! Im Jahre 367 trat er in die Akademie ein, an welcher Plato lehrte, und gehörte ihr bis zu dem 347 erfolgten Tode des Meisters ununterbrochen an. Letzterer soll Aristoteles seines unermüdlichen Lernens halber den Leser genannt und, ihn mit einem anderen Schüler mit den Worten verglichen haben, dieser bedürfe des Sporns, Aristoteles dagegen des Zügels.

Sein Ruf muß unterdessen ein hervorragender geworden sein. Es wird nämlich berichtet, daß König Philipp von Makedonien, als er ihm die Erziehung seines im 14. Lebensjahre stehenden Sohnes übertrug, folgende Worte an Aristoteles geschrieben habe: „Ich fühle mich den Göttern zu Dank verpflichtet, daß sie den Knaben zu Deiner Zeit geboren werden ließen. Denn von Dir erzogen, hoffe ich, soll er der Nachfolge auf meinem Throne würdig werden.“ Und so wurde denn — ein Verhältnis, welches einzig in der Geschichte dasteht — der bedeutendste Denker seiner Zeit mit der Erziehung des größten Herrschers betraut.

Über das Erziehungswerk selbst, welches nur die ersten Jahre des makedonischen Aufenthaltes unseres Philosophen umfaßte,

[1]) Stahr, das Leben des Aristoteles, als I. Teil von Stahrs Aristotelia. Halle, 1830.

fehlen nähere Nachrichten. Auch sind die Erzählungen, daß der königliche Schüler seinem Lehrer 800 Talente, sowie einen ganzen Trupp Leute zum Sammeln von Naturkörpern[1]) zur Verfügung gestellt habe, mindestens übertrieben. Soviel ist jedoch gewiß, daß Alexander wohl zu schätzen wußte, was er dem Aristoteles verdankte. Durch unverschuldete Umstände geriet letzterer gegen das Ende der Regierung Alexanders in Ungnade. Nach Ablauf eines acht Jahre dauernden Aufenthalts in Makedonien, der eine Zeit des Sammelns und der Vorbereitung gewesen ist, in welcher ihm der Gedanke, eine Encyklopädie der Wissenschaften zu verfassen, jedenfalls schon beherrscht hat, kehrte Aristoteles nach Athen zurück. Dort erhielt er die Erlaubnis, im Lykeion, einem der schönsten Gymnasien der Stadt, zu unterrichten. Von der Gewohnheit des Meisters, dies im Auf- und Abwandeln zu tun, erhielt seine Schule den Namen der Peripatetiker. Während Alexander die Welt eroberte, war Aristoteles hier ein König im Reiche der Wissenschaften. Von seinen zahlreichen Schriften ist indes nur der kleinere, aber wichtigste Teil erhalten geblieben.

Die Stellung des Aristoteles in dem antimakedonisch gesinnten Athen, wo er als Fremder und wegen seiner Beziehungen zu dem verhaßten großen König scheel angesehen wurde, war während seines 13jährigen Aufenthaltes in jener Stadt eine wenig angenehme. Als im Jahre 323 v. Chr. die Kunde von dem plötzlichen Tode Alexanders in Griechenland eintraf — von den meisten als ein Zeichen zur Befreiung vom makedonischen Joche mit Freuden begrüßt — erhoben sich in Athen zahlreiche Widersacher und Neider gegen Aristoteles. Er wurde der Lästerung der Götter angeklagt, zog es aber vor, nicht einen Prozeß abzuwarten, sondern der feindlich gesinnten Stadt den Rücken zu kehren, damit diese, wie er im Hinblick auf Sokrates sagte, sich nicht zum zweiten Male an der Philosophie versündige. Wie richtig er seine Lage erkannt hatte, geht daraus hervor, daß der Areopag ihn bald darauf trotz seiner Abwesenheit zum Tode verurteilte.

Aristoteles hatte sich nicht weit fortbegeben. Er war nach Euböa übergesiedelt, wohl in der Erwartung, durch den Sieg der makedonischen Waffen über die sich auflehnenden Athener nach seinem langjährigen Wohnsitz zurückgeführt zu werden. Diese Hoffnung sollte jedoch nur zum Teil in Erfüllung gehen, denn schon in dem auf das Ende Alexanders folgenden Jahre, bevor

1) Plinius, hist. nat. VIII, 17.

man in Griechenland die frühere Ordnung der Dinge wieder hergestellt hatte, setzte der Tod seinem reichen Leben ein Ziel.

Während die Mathematik und die Astronomie schon vor dem Auftreten des Aristoteles die ersten Stufen ihrer Entwicklung zurückgelegt hatten und in zielbewußter Weise die Lösung bestimmter Aufgaben anstrebten, war das Gleiche bezüglich der beschreibenden Naturwissenschaften noch nicht der Fall. Zwar waren die Grundlagen auch auf diesem Gebiete wie auf demjenigen der Astronomie in der sich unmittelbar aufdrängenden Beobachtung gegeben. Dem Aristoteles und seiner Schule blieb indes die erste denkende Erfassung und systematische Gestaltung der zusammenhangslosen naturgeschichtlichen Einzelkenntnisse vorbehalten.

Das wichtigste zoologische Werk des Aristoteles ist seine Tierkunde[1]). Es wurde im ersten Bande dieses Buches schon kurz gekennzeichnet. Der daselbst mitgeteilte Auszug bietet ferner eine Probe von dem Wissen des Aristoteles und der Art, wie er seinen Gegenstand behandelt. Begonnen wird mit der Beschreibung des menschlichen Körpers. Zur Erforschung der inneren Organe mußte jedoch das Tier dienen, da man sich noch nicht an die Zergliederung menschlicher Leichen heranwagte. Die anatomischen Kenntnisse des Aristoteles sind infolgedessen noch gering. Er hält das Fleisch für das Organ der Empfindung und glaubt, daß die Bewegung durch die Sehnen veranlaßt werde. Das Herz, von dem er sagt, es enthalte von allen Eingeweiden allein Blut[2]), ist ihm auch das Organ, in welchem das Blut bereitet wird. Vom Herzen aus läßt er diese Flüssigkeit sich durch den ganzen Körper verbreiten, ohne jedoch damit die Vorstellung von einem Kreislauf zu verbinden. Das Blut ist ihm ferner der Träger der dem Menschen eingepflanzten Wärme, und die Aufgabe der Atmung soll darin bestehen, diese Wärme auf das richtige Maß herabzumindern. Man darf sich nicht wundern, daß die Anschauungen des Aristoteles noch soweit von den heute als richtig erkannten und jedermann geläufigen abweichen. Denn die Erforschung der Vorgänge, welche sich in den Lebewesen abspielen, hat den späteren Jahrhunderten die größten Schwierigkeiten bereitet, so

1) Aristoteles' Tierkunde, kritisch-berichtigter Text mit deutscher Übersetzung, sachlicher und sprachlicher Erklärung und vollständigem Index von H. Aubert und Fr. Wimmer. 2 Bände. Mit 7 lithographierten Tafeln. gr. 8. Leipzig, Verlag von Wilhelm Engelmann. 1868.

2) Siehe Bd. I, Seite 3.

daß wir selbst zur Zeit kaum zu einem befriedigenden Einblick in den Zusammenhang dieser Vorgänge gelangt sind. Die Aufdeckung eines solchen Zusammenhanges ist nämlich vor allem von den Fortschritten der Chemie und der Physik abhängig gewesen, Wissenschaften, welche zur Zeit des Aristoteles kaum im Keime vorhanden waren. So konnte, um hier nur eins zu erwähnen, der Vorgang der Atmung und der Entstehung tierischer Wärme erst richtig gedeutet werden, nachdem man die Zusammensetzung und die Rolle der atmosphärischen Luft erkannt hatte. Und dies geschah erst gegen das Ende des 18. Jahrhunderts, an der Schwelle des letzten Abschnittes der Geschichte der Naturwissenschaften. Es ist Verdienst genug, daß Aristoteles den Fragen nach den Verrichtungen, sowie nach der Entwicklung der organischen Wesen[1]) zuerst eine wissenschaftliche Fassung gegeben und dadurch späteren Geschlechtern den Anlaß geboten hat, die Erforschung dieser Dinge weiter zu betreiben. So ist die Entwicklung des Hühnchens im Ei ein Problem, welches schon Aristoteles in Angriff nahm. Die Untersuchung wurde dann fast zweitausend Jahre später wieder aufgenommen und erst in neuester Zeit auf Grund der Vervollkommnung aller Hülfsmittel zu einem befriedigenden Abschluß geführt.

Mit Recht mag es dagegen Verwunderung erregen, daß Aristoteles nicht nur die niederen, sondern selbst höher entwickelte Tiere durch Urzeugung entstehen ließ. Es begegnet uns auch hier wieder ein Problem, das wir durch den Verlauf der Jahrhunderte in seinen Wandlungen verfolgen können, bis es endlich im neuesten Zeitalter seine Lösung gefunden hat.

Zwar ist es begreiflich, wenn Aristoteles Läuse aus Fleisch und Wanzen aus tierischen Feuchtigkeiten herleitet. Man höre aber, welch unwissenschaftliche Vorstellungen er sich über die Entstehung der Aale gebildet hat: „Sie legen“, sagt er[2]), „keine Eier, und man hat noch nie in ihnen einen der Fortpflanzung dienenden Teil entdecken können. Es gibt sumpfige Teiche, in denen sie wieder entstehen, wenn auch das Wasser und der Schlamm herausgeschafft sind, sobald diese Teiche wieder durch den Regen gefüllt werden. Die Aale gehen nämlich aus Regen-

[1]) Aristoteles' 5 Bücher von der Zeugung und Entwicklung der Tiere, übersetzt und erläutert von H. Aubert und Fr. Wimmer. Leipzig, Verlag von Wilhelm Engelmann. 1860.

[2]) Nach einem von O. Lenz in seiner Zoologie der Griechen und Römer mitgeteilten Auszug. S. dort S. 519.

würmern hervor, welche sich von selbst aus dem Schlamme bilden." Zur Entschuldigung mag es dem gegenüber dienen, daß die Fortpflanzung des Aales bis in die neueste Zeit hinein ein dunkles Gebiet der Zoologie gewesen ist.

Es sind etwa 500 Tierformen, welche Aristoteles in den auf uns gelangten Schriften berücksichtigt. Er bewältigt und beherrscht diesen Formenreichtum ferner — und das ist sein wesentlichstes Verdienst — indem er ihn in ein wohldurchdachtes, der Natur entsprechendes wissenschaftliches System eingliedert, welches erst durch Cuvier im Beginn des 19. Jahrhunderts eine wesentliche Verbesserung gefunden hat. Es erscheint deshalb gerechtfertigt, auf diesen ersten und auch gleich so wohlgelungenen Versuch eines natürlichen Systems der Tiere etwas näher einzugehen.

Zunächst teilte Aristoteles das gesamte Tierreich in Bluttiere und Blutlose. Ging er zwar hierbei von der unrichtigen Annahme aus, daß die rote Farbe ein notwendiges Kennzeichen des Blutes sei, so decken sich doch tatsächlich seine beiden großen Gruppen, wie wir aus ihrer weiteren Einteilung erkennen werden, mit unseren heutigen Wirbeltieren und Wirbellosen. Die Bluttiere zerfallen bei Aristoteles in lebendig gebärende Vierfüßer (Säugetiere), Vögel, eierlegende Vierfüßer (unsere heutigen Klassen der Reptilien und Amphibien), zu denen er ganz richtig trotz des Fehlens der Gliedmaßen wegen ihrer sonstigen Beschaffenheit die Schlangen rechnet, und in die von den Fischen scharf abgesonderten Waltiere. Für seine fünfte und letzte Gruppe, die Fische nämlich, hebt er das Vorhandensein von Kiemen hervor. Auch ist ihm bekannt, daß die Waltiere durch Lungen atmen und lebendige Junge zur Welt bringen. Daß letzteres auch bei gewissen Haien vorkommt, weiß er gleichfalls. Ja er zeigt sich mit Verhältnissen in der Entwicklung dieser Tiere vertraut, welche erst in der neuesten Zeit ihre Bestätigung gefunden haben[1]).

Unter den Blutlosen (Wirbellosen) gelten ihm als die entwickeltsten die Kopffüßer (Tintenfische), mit deren Bau und Lebensweise er sich eingehend befaßt. Dann folgen die Krebse, von ihm Weichschalige genannt. Die dritte Gruppe bilden die Kerbtiere. Aristoteles begreift darunter sämtliche Tiere mit geringeltem Körper, also nicht nur die Insekten, sondern auch die Spinnen,

---

[1]) Vergl. J. Müller, Über den glatten Hai des Aristoteles. Abh. der Berliner Akademie. 1840.

die Tausendfüßer und die Gliederwürmer. Bei den Kerbtieren fesselt ihn besonders der Bau und die Lebensweise der Honigbienen. Er erwähnt, daß sie das Bienenbrot an den Schenkeln eintragen und den Honig in ihre Zellen speien. Er erzählt von dem Bau der Waben, den Maden und Puppen und kennt die Herkunft sowie die Rolle, welche das sogenannte Vorwachs besitzt, so daß wir vor Swammerdam[1]), welcher durch die Anwendung des Mikroskops und durch die Befolgung der Grundsätze der neueren Naturforschung zu einem weit tieferen Einblick befähigt war, kaum eine gleich gute Schilderung dieses wichtigen Insektes antreffen.

Die vierte Gruppe, ausgezeichnet durch harte Schalen, die einen weichen ungegliederten Körper einschließen, bilden die Schnecken und die Muscheln, welche von Aristoteles unter dem Namen der Schaltiere zusammengefaßt werden. Der fünften und letzten Gruppe, den Seewalzen, Seesternen und Schwämmen, wird eine vermittelnde Stellung zwischen dem Tier- und Pflanzenreich zugewiesen.

Eine ähnliche Bedeutung, wie sie Aristoteles für die Zoologie besitzt, nimmt sein Schüler Theophrast der Botanik gegenüber ein. Bisher hatte man sich den Gewächsen, soweit sie nicht dem unmittelbaren Unterhalt von Mensch und Tier dienen, lediglich aus medizinischem Interesse zugewandt. Das Sammeln der Pflanzen und ihre Verarbeitung zu heilkräftigen Säften wurde berufsmäßig von Leuten betrieben, welche die alten Schriftsteller Wurzelschneider nennen. Es waren dies die Vorläufer unserer heutigen Pharmazeuten. Jetzt wandte sich das wissenschaftliche Interesse neben der Tierwelt auch dem Pflanzenreich zu. Aristoteles verfaßte eine Theorie der Pflanze; es sind jedoch nur wenige Bruchstücke dieser Schrift auf unsere Zeit gelangt. Manche denselben Gegenstand betreffende Ansichten finden sich in den übrigen Schriften des großen Philosophen zerstreut. Die erste eingehende Bearbeitung der den Griechen bekannten Gewächse unter Berücksichtigung ihrer Lebensbedingungen sowie der allgemeinen Morphologie lieferte erst Theophrast (geboren um 390 v. Chr.), auf dessen Naturgeschichte der Gewächse[2]) wir jetzt näher eingehen wollen.

---

1) Siehe Band I d. Grdr., Abschnitt 21.

2) Theophrast, Naturgeschichte der Gewächse, übersetzt und erläutert von K. Sprengel. 1822. Die Hauptausgabe seiner Werke rührt von Wimmer her. Breslau und Leipzig 1842—1862.

Was beim Lesen dieses Buches zunächst auffällt, ist der Mangel genauer Beschreibungen, die erst später in immer höherem Grade als das nächstliegende Ziel der botanischen Wissenschaft erkannt wurden. Oft fehlt eine Beschreibung der zur Besprechung gelangenden Pflanze ganz, da Theophrast sie als den Lesern, für welche er schreibt, hinreichend bekannt voraussetzt. In anderen Fällen beschränkt er sich darauf, augenfällige Eigentümlichkeiten hervorzuheben, so daß es später oft schwer, ja manchmal unmöglich gewesen ist, selbst nachdem man die Flora Griechenlands genauer kennen gelernt hat, die Identität der einzelnen Pflanzen festzustellen. Als gegen den Ausgang des Mittelalters die Botanik eine Weiterentwicklung erfuhr, war man zunächst in der Vorstellung befangen, die Pflanzen, über welche die Alten geschrieben, seien auch im westlichen Europa zu finden. Erst nachdem man sich lange in dieser Richtung abgemüht und nur in wenigen Fällen etwas erreicht hatte, weil man der geographischen Verbreitung der Gewächse noch nicht die gebührende Beachtung schenkte, ging man zur möglichst genauen Beschreibung der Pflanzen über. So entstanden die Kräuterbücher, von denen später die Rede sein wird.

In dem Buche des Theophrast überwiegt das praktische Interesse noch bei weitem das rein wissenschaftliche. Die Beschreibung gewisser technischer Verrichtungen, wie die Gewinnung von Holzkohle, Pech, Harz und Spezereien, ferner die Verwendung der Holzarten, insbesondere aber die Wirkung der Pflanzen auf den menschlichen Körper, nehmen dementsprechend einen breiten Raum ein. Aber auch von der geographischen Verbreitung, den Krankheiten, der Lebensdauer, sowie der Ernährung der Pflanzen ist die Rede. Daß dabei zu einer Zeit, in der man kaum beobachten, geschweige denn experimentieren gelernt hatte, manche irrtümliche Ansicht ausgesprochen wird, ist leicht begreiflich. So führt Theophrast die Erscheinung, daß die Bäume, wenn sie dicht gedrängt stehen, keinen kräftigen Wuchs aufweisen, sondern dünn und lang werden, nicht auf den Einfluß des Lichtes, sondern auf Mangel an Nahrung zurück. Auch die Möglichkeit, daß sich die eine Pflanzenart in die andere umwandele, ein häufig wiederkehrender Irrtum, wird bei Theophrast erörtert. So sagt er: „Die wilde Minze soll sich in Gartenminze umändern, auch soll sich der Weizen in Lolch verwandeln.“ Von der Sexualität der Pflanzen vermochte er sich ebensowenig wie das übrige Altertum eine klare Vorstellung zu bilden, doch erwähnt er, daß man bei

den Dattelpalmen das Ansetzen von Früchten dadurch zu befördern suche, daß man die stauberzeugenden Blüten über die fruchtgebenden hänge. Ein Verdienst erwarb sich Theophrast durch die begriffliche Bestimmung, sowie die Morphologie der wichtigsten Pflanzenorgane. Doch vermochte er es nicht, eine naturgemäße Einteilung des Pflanzenreichs zu schaffen und damit das zu leisten, was Aristoteles für die Zoologie getan. Er überschreibt z. B. ein Kapitel: „Von den wilden Bäumen", während ein anderes mit den Worten beginnt: „Jetzt soll von den Gewächsen der Flüsse, Sümpfe und Teiche die Rede sein." Immerhin werden bei seiner Einteilung der Kräuter mitunter schon natürliche Gruppen angedeutet.

Auch die dritte der beschreibenden Naturwissenschaften, die Mineralogie, fand ihre erste Bearbeitung in demselben Zeitalter, in welchem die Zoologie und die Botanik ins Leben gerufen wurden. Dies geschah gleichfalls durch Theophrast, und zwar in seinem Werke „Über die Steine" [1]. Jedoch handelt es sich hier in noch höherem Grade wie in der Botanik um eine bloße Zusammenstellung von chemischen und mineralogischen Einzelkenntnissen, in deren Besitz man insbesondere durch die Ausübung hüttenmännischer Prozesse gelangt war. Bestanden doch z. B. in Attika die Silberhütten des Laurion seit den ältesten Zeiten. Ihre reichen Erträge ermöglichten es Athen, zur Abwehr der Perser Rüstungen von einem Umfange zu betreiben, wie sie sich ein solch kleiner Staat sonst schwerlich hätte auferlegen können. Es handelte sich am Laurion um silberhaltige Bleierze, aus welchen man zunächst, wie es noch heute geschieht, durch Rösten und darauffolgendes Niederschmelzen das rohe Blei gewann. Ein der Treibarbeit entsprechendes Verfahren lieferte dann infolge der Oxydation des Bleies zu Glätte das Silber [2].

Nach diesem Einblick in die Entstehung der beschreibenden Naturwissenschaften wenden wir uns den Anfängen der Physik und der Chemie zu. Am meisten Erfolg hatte man auf diesen Gebieten dort aufzuweisen, wo die rasch emporblühende

---

1) *Περὶ λίθων.*

2) Böckh, Abhandlungen der Berliner Akademie. 1814/15. S. 104. Die von den Athenern aufgehäuften Schlacken enthalten noch 10 % Blei und 0,004 % Silber; sie werden neuerdings wieder auf diese beiden Metalle verarbeitet. (Siehe Dammer, Handbuch der chemischen Technologie. 1895. II. Band, S. 549.)

Mathematik Anwendung finden konnte; dies galt insbesondere von der Mechanik.

Wie die ersten erfolgreichen Schritte auf dem Gebiete der Astronomie waren die Anfänge der Mechanik von dem Erreichen einer gewissen Stufe des mathematischen Denkens abhängig. Dem Verlauf der Vorgänge angemessene Begriffe entwickeln sich daher hier weit später als das Vermögen, die Gesetze der Mechanik anzuwenden, ohne sich ihrer klar bewußt zu sein. Das letztere mußte nämlich schon bei der frühesten Ausübung gewerblicher Tätigkeit stattfinden. Welch unvollkommene Vorstellungen in mechanischen Dingen die meisten naturwissenschaftlichen Schriftsteller des Altertums hegten, davon läßt sich manches Beispiel nachweisen. So erzählt Plinius[1]) folgendes von dem Schiffshalter (Echineis remora), einem Fisch des Mittelmeeres, welcher eine Anzahl Saugnäpfe auf der Stirn besitzt und sich mit diesen an Schiffen und anderen Gegenständen festzuhalten vermag: „Mögen die Stürme wüten und die Wogen rasen, dieses kleine Geschöpf spottet ihrer Wut, zähmt ihre Kraft und zwingt ein Schiff zu stehen, wenn kein Tau und kein Anker dazu im stande ist. Und zwar hemmt es den Ansturm und bezwingt die Elemente nicht durch eigene Arbeit oder Gegenwirkung, sondern einzig und allein dadurch, daß es sich anhängt."

Eine solche Unklarkeit herrschte also bezüglich eines so einfachen mechanischen Begriffes wie des Ziehens, daß ein Schriftsteller wie Plinius, lange nachdem die ersten erfolgreichen Schritte auf dem Gebiete der Mechanik durch Archimedes getan waren, derartige Fabeln ohne Widerspruch aufnahm. Hierin zeigt sich aber auch, daß Archimedes auf das physikalische Denken der auf ihn folgenden Jahrhunderte nur einen geringen Einfluß ausgeübt hat und in seiner riesenhaften Größe eine vereinzelt stehende Erscheinung blieb. Das volle Verständnis für seine Werke, sowie die Fähigkeit, an das von ihm Geleistete anzuknüpfen und darauf weiterzubauen, scheint in den nächsten 1 1/2 Jahrtausenden mit geringen Ausnahmen überhaupt nicht vorhanden gewesen zu sein. Umso weniger wird man sich wundern, daß alle vor Archimedes zur Begründung der Mechanik unternommenen Versuche erfolglos gewesen sind, obgleich sich kein geringerer als Aristoteles in dieser Richtung abgemüht hat. Da letzterer aber nicht von Versuchen, sondern lediglich von Begriffserklärungen

---

[1]) Plinius, histor. nat. XXXII, 1.

ausging und in diese das natürliche Geschehen hineinzuzwängen suchte, blieb sein Werk über die Mechanik[1]) das verfehlteste Erzeugnis des berühmten Mannes. Nichtsdestoweniger beansprucht es unser Interesse, weil die neuere Naturwissenschaft damit anhob, diese bis zum 17. Jahrhundert in größtem Ansehen stehende Schrift zu bekämpfen. Um die Unhaltbarkeit der in ihr vorkommenden Behauptungen nachzuweisen, war man nämlich dem bloßen Wortgeplänkel der damals herrschenden Scholastik gegenüber gezwungen, die eigene Erfahrung und das Experiment in den Vordergrund zu stellen.

Zu den alltäglichsten Erscheinungen, welche vor allem dazu angetan sind, das Nachdenken hervorzurufen, gehört die Bewegung frei fallender Körper. Diese Erscheinung, deren Betrachtung später Newton zur Entdeckung des Weltgesetzes führte, wurde von Aristoteles durchaus irrig aufgefaßt. Bezeichnend für die ganze Geistesrichtung dieses Mannes ist es, daß er nicht von der Erscheinung selbst, sondern von begrifflichen Festsetzungen ausgeht und bei diesen stehen bleibt. Er betrachtet zunächst die Bewegung im allgemeinen und unterscheidet zwei Arten derselben, die begrenzte geradlinige und die unbegrenzte kreisförmige. Letztere, als die angeblich vollkommnere, schreibt er den himmlischen Körpern zu. Die geradlinige Bewegung wird aus einem entweder zum Zentrum hin oder vom Zentrum fort gerichteten Streben der Körper erklärt und so werden die Begriffe Leichtigkeit und Schwere aufgestellt. Die erstere Eigenschaft wird der Luft und dem Feuer, die zweite dem Wasser und der Erde, d. h. allen flüssigen und festen Körpern beigelegt. Aus diesen Erklärungen folgt nun für Aristoteles mit zwingender Notwendigkeit, daß der schwerere Körper, weil sein Streben zum Zentrum ein größeres sei, sich schneller abwärts bewegen müsse. Hieraus schlossen dann später die Anhänger des Aristoteles, daß die Körper genau in demselben Verhältnis schneller fielen, je größer ihr Gewicht sei, so daß beispielsweise ein hundertpfündiges Stück Eisen auch hundertmal so schnell zur Erde gelange wie ein solches von einem Pfund Gewicht. Jeder ohne Voreingenommenheit angestellte Versuch hätte diesen Schluß als unhaltbar dartun müssen, trotzdem blieb er — ein Beweis, welch unheilvolle Macht der Autorität des geschriebenen Wortes unter Umständen innewohnt — in Geltung, bis Galilei ihn durch seine Fallversuche glänzend widerlegte.

---

[1]) Aristoteles, Mechanische Probleme, von Poselger. Hannover, 1881.

Ganz anderer Art waren die Probleme, welche etwa hundert Jahre nach Aristoteles den Archimedes beschäftigten. Sie betrafen das Gebiet der Statik und wurden nach echt naturwissenschaftlichem Verfahren, d. h. gestützt auf Versuche und mathematische Ableitung und deshalb mit bestem Erfolge, behandelt. Die Werke des Archimedes[1]) sind daher als das hervorragendste Erzeugnis des griechischen Geistes auf dem exakten Gebiete zu bezeichnen. Es scheint kein Zufall zu sein, daß diese Werke nicht in dem vorwiegend der Kunst und der Philosophie zugewandten Mutterlande, sondern in Großgriechenland entstanden sind, wo der Handel pulsierte und eine gewisse, die forschende Tätigkeit begünstigende Nüchternheit des Verstandes vorherrschte.

Über das Leben des Archimedes ist wenig Zuverlässiges bekannt. Er wurde um das Jahr 287 v. Chr. in Syrakus geboren, gehört also in die für Sicilien so bewegte Zeit der großen Entscheidungskämpfe, welche Rom und Karthago um die Weltherrschaft führten. Die Geschichtsschreiber dieser Periode, Livius, Polybios und Plutarch, sind es auch, denen wir die meisten Nachrichten über Archimedes verdanken. Was diese und andere über ihn erzählen, setzt sich indessen zum größten Teil aus kleinen Anekdoten zusammen, mit denen das Altertum das Leben seiner berühmten Männer, insbesondere seiner hervorragenden Denker, auszuschmücken liebte.

Archimedes war nach Plutarch ein Verwandter Hieros II., des Tyrannen von Syrakus, und lebte, ohne ein öffentliches Amt zu bekleiden, ganz der Wissenschaft. Eine Zeit lang hielt er sich auch in Ägypten auf. Dort war nach dem Tode Alexanders des Großen in der alexandrinischen Schule eine Stätte hellenischer Weisheit emporgeblüht, welche berufen war, in den nachfolgenden Jahrhunderten die Fackel des Geistes hochzuhalten. Mit den damaligen Mitgliedern der Schule ist Archimedes zwar in Verkehr getreten; es würde jedoch zu weit gehen, wenn man ihn deshalb zu dieser Schule rechnen wollte.

Seine Beziehungen zu den syrakusanischen Machthabern scheinen ihn veranlaßt zu haben, daß er sein außerordentliches Geschick in mechanischen Dingen der Vervollkommnung der Schleuderwerkzeuge und anderer Kriegsgeräte zuwandte. Die Alten rühmen dem

[1]) Archimedes' von Syrakus vorhandene Werke. Aus dem Griechischen übersetzt und mit erläuternden und kritischen Anmerkungen begleitet von Ernst Nizze. Stralsund 1824. Eine neuere Archimedesausgabe rührt von Heiberg her und erschien im Jahre 1880.

Archimedes die Erfindung von nicht weniger als 40 Maschinen nach. Unter diesen werden auch der Flaschenzug und die sogenannte Archimedische Schraube genannt. Letztere soll er in Ägypten zum Bewässern der dem Nile benachbarten Ländereien erfunden haben. Bei manchen Angaben der Alten, insbesondere denjenigen, welche sich auf die von Archimedes geleitete Verteidigung seiner Vaterstadt beziehen, ist es indessen schwer, Wahrheit und Irrtum auseinanderzuhalten. So wird ferner erzählt, Hiero habe ihn aufgefordert, vermittelst einer geringen Kraft eine große Last zu bewegen. Dies habe Archimedes zur Erfindung des Flaschenzuges geführt, mit dem er dann vor den erstaunten Augen des Königs eine schwer beladene Triëre ohne Anstrengung an das Land gezogen.

Besser sind wir über die letzten Lebensjahre des Archimedes unterrichtet, da sie in die Zeit der Belagerung von Syrakus fallen, bei welcher Archimedes den Nachrichten der Geschichtsschreiber[1]) zufolge eine wichtige Rolle gespielt und schließlich ein trauriges Ende gefunden hat. Auch bezüglich der über diese Begebenheit auf uns gelangten Nachrichten sind Wahrheit und Dichtung gemengt. Der zweite punische Krieg, welcher das Schicksal Siciliens entscheiden sollte, hatte im Jahre 218 v. Chr. mit einem Siegeslauf Hannibals begonnen, wie ihn die Welt seit den Tagen Alexanders nicht gesehen. Bald jedoch wandte sich das Glück, und während Hannibal sich nur durch geschickte Züge in Italien zu halten wußte, brachten die Römer eine Stadt Siciliens nach der anderen zu Fall, bis sich endlich die ganze Insel in ihren Händen befand. Am meisten Schwierigkeiten bereitete dem römischen Feldherrn Marcellus die Stadt Syrakus, und das Verdienst, daß diese viele Monate der Belagerung zu trotzen vermochte, wird vor allem den Verteidigungsmaßregeln des Archimedes zugeschrieben. Wurfmaschinen von ganz hervorragender Wirkung und Treffsicherheit, die nach Plutarch Steinblöcke von etwa 12 Zentnern auf große Entfernung schleuderten, schreckten die Stürmenden zurück. Dem Angriff der Flotte suchte man mit Feuerbränden zu begegnen. Spätere Berichterstatter haben daraus die völlig unglaubwürdige Erzählung gemacht, Archimedes habe die Schiffe der Belagerer mit Hülfe von Hohlspiegeln in Brand gesetzt.

Als endlich die Römer im Jahre 212 die Stadt einnahmen und die Soldaten, voll Wut über die erlittenen Mühsale und

[1]) Polybios: Geschichte. Übersetzt von Haakh. Stuttgart 1868. 8. Buch, Kapitel 5—9. — Plutarchos: Marcellus 14—19.

Verluste, ein furchtbares Gemetzel begannen, zählte Archimedes zu den Opfern. Über sein Ende, welches Marcellus sehr betrübt haben soll, lauten die Berichte verschieden. Am bekanntesten ist die Erzählung, Archimedes sei, in Nachdenken über ein mathematisches Problem versunken, von einem römischen Soldaten niedergestoßen worden. Seine letzten Worte sollen „Noli turbare circulos meos“ gelautet haben. Das Grab des Gelehrten wurde mit einem Stein geschmückt, in welchen die von dem Cylinder umschlossene Kugel eingemeißelt wurde. So soll es Archimedes selbst gewünscht haben, ein Zeichen, welchen Wert er auf seine Entdeckung legte, daß der Inhalt der Kugel zum Inhalt des umschließenden Cylinders sich wie 2 : 3 verhält. Dieses Grabmal, welches Marcellus errichten ließ, wurde später von Cicero, als er auf Sicilien die Quästur bekleidete, in sehr vernachlässigtem Zustande wieder aufgefunden und der Vergessenheit entrissen [1]).

Die wissenschaftliche Bedeutung des Archimedes ist in gleicher Weise auf den Gebieten der reinen Mathematik wie der Mechanik zu suchen. Außer dem soeben erwähnten wichtigen Satze über den Inhalt der beiden Körper, deren Oberflächenverhältnis er gleichfalls auffand, lieferte Archimedes eine Arbeit über die Kreismessung, welche eine Berechnung der Zahl π enthält. Sein Verfahren ist das in der elementaren Geometrie noch jetzt gelehrte. Ausgehend von dem Satze, daß der Umfang des Kreises kleiner ist als der Umfang des umschriebenen und größer als derjenige des eingeschriebenen regelmäßigen Vielecks, berechnet Archimedes als Grenzwerte für π die Zahlen 3,141 und 3,142. Es sind dies nämlich die Werte, welche sich für den Umfang des ein- und umgeschriebenen regelmäßigen 96-Ecks ergeben.

Die Behandlung ebener Figuren wurde von Archimedes jedoch auch über das Gebiet der elementaren Mathematik hinausgeführt, indem er den Inhalt der Parabel berechnen lehrte und die Eigenschaften von Kurven höherer Ordnung, wie der Spiralen, aufwies. Bei der Besprechung der Verdienste des Archimedes um die reine Mathematik sei ferner einer seiner Schriften Erwähnung getan, welche besonders in früherer Zeit viel gelesen wurde und auch heute noch Beachtung verdient. Es ist dies die „Sandesrechnung“ [2]).

---

1) Cicero, tuscul. disput. V, 23.

2) Um den Leser mit dem Inhalt und der Bedeutung dieser Schrift

Zum Verständnis der in dieser Schrift gelösten Aufgabe müssen wir vorausschicken, daß die Griechen etwas unserem heutigen Ziffernsystem Entsprechendes noch nicht besaßen. Die Zahlen wurden durch Buchstaben bezeichnet. Größere Zahlen zu schreiben, war daher sehr unbequem, weil man das Prinzip des Stellenwertes, das erst durch Vermittlung der Araber aus Indien nach Europa gelangte, noch nicht kannte und auch noch kein Zeichen für die Null besaß. Es ist erstaunlich, wie weit es die Alten trotzdem in der Arithmetik gebracht haben. Wagte sich Archimedes doch sogar an die unendliche geometrische Reihe 1 $^1/_4$ $^1/_{16}$ $^1/_{64}$ ..., deren Summe er gleich $^4/_3$ fand.

In der Sandesrechnung wird gezeigt, daß sich jede noch so große Menge durch eine Zahl ausdrücken läßt. Indem Archimedes die Abmessungen der Aristarchischen Fixsternsphäre zu grunde legt, berechnet er, wieviel Sandkörner von bestimmter Größe darin Platz finden können. Das Ergebnis ist nach unserer heutigen Bezeichnungsweise die Zahl 10^{63} oder 1000 Dezillionen. Von solchen Zahlen bis zur Konzeption des Unendlichkeitsbegriffes[1]) war nur noch ein Schritt.

An hervorragenden Mathematikern besaß das Altertum keinen Mangel. Wir brauchen nur Euklid und Apollonios zu nennen. Es gab aber niemand bis in die neuere Periode der Geschichte der Wissenschaften, welcher ähnliche Leistungen auf dem Gebiete der Mechanik vollbracht hätte wie Archimedes. Letzterer muß als der eigentliche Begründer dieser Wissenschaft bezeichnet werden. Mit den wichtigsten von ihm gefundenen Sätzen, welche sich auf das Gebiet der Statik und der Hydrostatik beziehen, ist der Leser bereits durch den dritten Abschnitt des I. Bandes bekannt geworden. An den siebenten Satz, welcher das Hebelgesetz zum Ausdruck bringt, knüpft sich das dem Archimedes zugeschriebene Wort: „Gib mir einen Ort, wo ich mich hinstellen kann, und ich will die Erde bewegen“[2]). Die Schwerpunktsbestimmungen, auf die sich Satz 8—10 beziehen, werden im zweiten Teile der Abhandlung vom Gleichgewicht[3]) sogar auf das Parabelsegment ausgedehnt, nachdem Archimedes vorher die Quadratur der Parabel gelehrt hat. In den Büchern, welche von den schwimmenden Körpern

bekannt zu machen, wurde sie in freier Bearbeitung und erheblich gekürzt dem I. Bande dieses Werkes einverleibt. Siehe dort Abschn. 4 (2. Aufl.).

1) S. Günther, Geschichte der antiken Naturwissenschaft. 1888. Seite 21.

2) *δός μοι ποῦ στῶ καὶ κινῶ τὴν γῆν* (Pappus VIII, 11 ed. Hultsch).

3) Archimedes. Werke. Ausgabe von Nizze, Seite 26 ff.

handeln, leitet er aus den Grundeigenschaften der Flüssigkeiten, nämlich der leichten Verschiebbarkeit ihrer Teilchen und der Druckfortpflanzung, eine Reihe von Sätzen ab, von denen die wichtigsten gleichfalls im dritten Abschnitt des I. Bandes mitgeteilt wurden. Satz 15 bringt das hydrostatische Grundgesetz zum Ausdruck, auf welches Archimedes nach der Erzählung des Vitruv durch einen besonderen Anlaß gekommen sein soll. Nach diesem Schriftsteller hatte Hiero aus einer abgewogenen Menge Gold eine Krone anfertigen lassen. Als man dem Tyrannen dann hinterbrachte, daß ein Teil des Goldes unterschlagen und durch Silber ersetzt worden sei, wurde Archimedes zu Rate gezogen, um den Betrug nachzuweisen. „Dieser, eifrig damit beschäftigt“, fährt Vitruv fort[1]), „kam nun zufällig in ein Bad. Als er dort in die gefüllte Wanne hinabstieg, bemerkte er, daß das Wasser in gleichem Maße austrat, in welchem er seinen Körper in die Wanne niederließ. Sobald er nun auf den Grund dieser Erscheinung gekommen war, verweilte er nicht länger, sondern sprang, von Freude getrieben, aus dem Bade, und rief, nackend seinem Hause zulaufend, mit lauter Stimme: *„Εὕρηκα! εὕρηκα!* (Ich habe es gefunden!).“

Die Lösung des von Hiero gestellten Problems, der sogenannten Kronenrechnung, erzählt Vitruv mit folgenden Worten: „Dann soll er, von jener Entdeckung ausgehend, zwei Klumpen von demselben Gewicht, welches der Kranz besaß, den einen von Gold, den anderen von Silber, hergestellt haben. Hierauf füllte er ein weites Gefäß bis zum obersten Rande mit Wasser und senkte dann den Silberklumpen hinein, worauf das Wasser in gleichem Maße ausfloß, wie der Klumpen in das Gefäß getaucht wurde. Nachdem er den Klumpen wieder herausgenommen hatte, füllte er das Wasser um soviel wieder auf, als es weniger geworden war, und maß dabei die zugegebene Menge. Daraus ergab sich, welches Gewicht Silber einem bestimmten Rauminhalt Wasser entspricht. Nachdem er dies erforscht hatte, senkte er den Goldklumpen in das volle Gefäß und füllte das verdrängte Wasser vermittelst eines Hohlmaßes nach. Es ergab sich, daß diesmal von dem Wasser um soviel weniger abgeflossen war, wie der Goldklumpen einen minder großen Rauminhalt besaß als ein Silberklumpen von gleichem Gewicht. Nachdem er hierauf das Gefäß abermals gefüllt und den Kranz selbst in das Wasser gesenkt hatte, fand er, daß mehr Wasser bei dem Kranze als bei dem gleichschweren

[1]) Vitruvius, de architectura IX. Übers. v. F. Reber, Stuttgart 1865.

Goldklumpen abfloß, und entzifferte aus dem, was mehr bei dem Kranze abfloß, die Beimischung des Silbers und machte so die Unterschlagung offenbar."

Im weiteren Verlaufe seiner Abhandlung untersucht Archimedes die Stabilität gewisser schwimmender Körper, wie des Kugelabschnitts und des parabolischen Konoids, wobei es ihm offenbar mehr auf eine Betätigung seines mathematischen Geschicks als auf eine Bereicherung der Mechanik ankommt. Überhaupt erweist sich die Mathematik des Archimedes den derzeitigen mechanischen Problemen gegenüber als der überlegene Teil, während in der neueren Periode das umgekehrte Verhältnis obwaltet[1]), so daß der von Leibniz herrührende Ausspruch[2]): „Wer in die Werke des Archimedes eindringt, wird die Entdeckungen der Neueren weniger bewundern" wohl gerechtfertigt erscheint.

Ein zweites Gebiet, welches sich der mathematischen Behandlung zugänglich erwies, war die Akustik. So erkannten z. B. die Pythagoreer, daß die Längen von gleich dicken und in gleichem Maße gespannten Saiten, wenn sich Konsonanzen ergeben sollen, in einem einfachen Verhältnis stehen müssen. Dieses Verhältnis fanden sie für die Oktave gleich 1 : 2 und für die Quinte gleich 2 : 3. Und zwar geschah dies mit Hülfe eines Monochords, welches die Einrichtung besaß, daß eine Saite über einen Steg geführt und durch Gewichte beliebig gespannt wurde. In dieser Vorrichtung begegnet uns der erste Apparat, vermittelst dessen auf experimentellem Wege ein Naturgesetz gefunden wurde. Auch bei Aristoteles treffen wir klare Vorstellungen über akustische Vorgänge. Aristoteles schreibt der Luft die vermittelnde Rolle bei den Schallerscheinungen zu und führt die letzteren auf Schwingungen der tönenden Körper zurück, welche sich bis zu unserem Ohre fortpflanzen. Die gleiche Anschauung überträgt er auch auf das Gebiet der Optik. Vor ihm hatte sich die wunderbare Vorstellung entwickelt, das Sehen sei eine Art Tasten, bei dem das Auge sich aktiv verhalte und sozusagen Fühlfäden nach den Körpern hin erstrecke. Aristoteles wendet dagegen ein, daß man dann auch während der Nacht zum Sehen befähigt sein müsse. Ähnlich wie beim Schall die Luft zur Übermittelung erforderlich sei, setze auch das Licht zwischen dem Auge und dem

---

1) Siehe auch E. Dühring, Kritische Geschichte der allgemeinen Prinzipien der Mechanik. Berlin 1873. Seite 9.

2) Leibnitii opera, Genevae, 1768. V, 460.

gesehenen Gegenstande ein Medium voraus, welches die Wirkung zu übertragen vermöge.

Die erste systematische Behandlung der Optik wird dem um 300 v. Chr. zu Alexandrien lebenden Mathematiker Euklid[1]) zugeschrieben. Ausgehend von der Tatsache, daß die Lichtstrahlen gerade Linien sind und nach dem Reflexionsgesetz zurückgeworfen werden, beschäftigt sich Euklid mit der Spiegelung, der Gestalt und der scheinbaren Größe der Gegenstände. Von Interesse ist der Satz[2]), daß „von Hohlspiegeln, welche gegen die Sonne gehalten werden, Feuer angezündet wird“. Doch wird irrtümlich behauptet, daß die Entzündung nicht nur zwischen dem Spiegel und dem Krümmungsmittelpunkt, sondern auch in letzterem selbst erfolge. Auch mit einem der bekanntesten Versuche über die Brechung des Lichtes war schon Euklid bekannt. Er berichtet darüber mit folgenden Worten[3]): „Legt man einen Gegenstand auf den Boden eines Gefäßes und schiebt letzteres soweit zurück, daß der Gegenstand eben verschwindet, so wird dieser wieder sichtbar, wenn wir Wasser in das Gefäß gießen.“

Hatten die Pythagoreer die Erscheinung der Konsonanz und Dissonanz von Tönen einfach als Tatsache hingenommen, so finden wir bei Euklid zum ersten Male das Bestreben, sich von der Ursache dieser merkwürdigen Erscheinung Rechenschaft zu geben. Dissonanz ist für ihn die Unfähigkeit der Töne sich zu mischen, wodurch der Klang für das Gehör rauh werde, während konsonierende Töne sich zu mischen vermöchten. Euklid kommt damit vorahnend der später von Smith und Helmholtz gegebenen Erklärung nahe.

Einen merkwürdigen Ansatz zur induktiven Behandlung eines optischen Problems finden wir weit später bei Ptolemäos. Dieser Mann, berühmt als Mathematiker, Geograph und Astronom, dessen Weltsystem fast 1 1/2 Jahrtausende gegolten hat, lebte im zweiten Jahrhundert nach Christi Geburt in Alexandrien, dem damaligen Mittelpunkt aller wissenschaftlichen Bestrebungen.

Die Erscheinung, daß ein Lichtstrahl beim Übergang aus einem Mittel in ein zweites von anderer Dichte abgelenkt wird, während das Licht sich in ein und derselben Substanz geradlinig

---

1) Euklids Optik und Katoptrik wurde 1557 zu Paris griechisch und lateinisch herausgegeben. Eine neuere Ausgabe von Gregory erschien im Jahre 1703. Die Hauptausgabe rührt von Heiberg und Menge her. Bibl. Teubn. 1883.

2) 31. Theorem der Katoptrik Euklids.

3) 7. Erfahrungssatz der Katoptrik.

fortpflanzt, konnte selbst der frühesten Beobachtung nicht entgehen. Auch bemerkte man, daß diese Brechung umso größer ist, je schräger das Licht die Grenzflächen zwischen beiden Mitteln trifft. Der erste Schritt auf dem Wege der induktiven Behandlung mußte nun darin bestehen, daß man die Erscheinung messend verfolgte und für eine Reihe angenommener Winkel die Größe der abhängigen Winkel durch den Versuch bestimmte. Letzteres geschah durch Ptolemäos. Mit einem für diesen Zweck eingerichteten Werkzeug maß er für die Einfallswinkel von 10°, 20°, 30° u. s. w. die zugehörigen Brechungswinkel. Sein Apparat bestand aus einer Scheibe, welche in Grade geteilt und bis zum Mittelpunkt ins Wasser getaucht war (siehe Abb. 4). Das Verfahren war folgendes: Ein Lichtstrahl BC wurde durch eine Marke B des über dem Wasserspiegel MN befindlichen Scheibenstückes nach dem Mittelpunkte C der Scheibe geleitet. An dieser Stelle fand beim Eintritt in das Wasser die Brechung statt. Der gebrochene Strahl CD setzte seinen Weg unter dem Wasserspiegel fort, bis er den Umfang in einem auf der Gradeinteilung abzulesenden Punkte D wieder traf. Die Werte, welche Ptolemäos auf solche Weise erhielt, sind in folgender Tabelle zusammengestellt:

Einfallswinkel (α)	Brechungswinkel (β)	
10°	8°	(statt 7° 17′)
20°	15,5°	(„ 14° 47′)
30°	22,5°	(„ 21° 54′)
40°	28°	(„ 28° 40′)
50°	35°	(„ 34° 52′)
60°	40,5°	(„ 40° 16′)

Der Brechungsexponent für den Übergang des Lichtes aus Luft in Wasser ergibt sich daraus gleich 1,31, während er nach neueren Messungen 1,33 beträgt. Die erhaltenen Resultate waren also im Hinblick auf die Art des Verfahrens recht genau, ein Beweis, daß eins der wichtigsten Erfordernisse der exakten Forschung, die Schärfe der Beobachtung nämlich, dem Ptolemäos nicht mangelte.

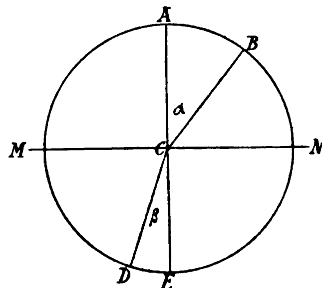


Abb. 4. Ptolemäos mißt die Brechungswinkel.

Nach dem Messen besteht der nächste Schritt auf dem Wege des induktiven Verfahrens in dem Auffinden einer gesetzmäßigen

Beziehung zwischen den gegebenen und den gefundenen Größen. Ptolemäos hat auch diesen Schritt versucht. Wenn es ihm auch nicht gelang, jene Beziehungen auf einen mathematischen Ausdruck zurückzuführen, so sprach er doch das Grundgesetz der Dioptrik wenigstens dahin aus, daß der Lichtstrahl beim Übergange aus einem dünneren in ein dichteres Mittel zum Einfallslote hin gebrochen wird. Er findet es sogar wahrscheinlich, daß für je zwei Stoffe stets ein bestimmtes Verhältnis zwischen dem Einfalls- und dem Brechungswinkel obwaltet.

Nachdem dieses Problem soweit gefördert war, hat es lange Zeit geruht. Zwar beschäftigte es die gerade auf dem Gebiete der Optik sehr tätigen Araber[1]; doch gelangten diese nicht wesentlich über Ptolemäos hinaus. Auch Johann Keppler hat sich damit befaßt, indem er nach einem später zu beschreibenden Verfahren Messungen über die Brechung im Glase anstellte und den Begriff des Grenzwinkels einführte. Seine Lösung fand das Problem indes erst im 17. Jahrhundert durch Snellius, den wir als den Entdecker des Brechungsgesetzes kennen lernen werden.

Während die Mechanik, die Optik und die Akustik schon in diesem Zeitalter ihre Grundlagen erhielten, blieb man auf den Gebieten der Wärme, des Magnetismus und der Elektrizität bei einigen rohen Beobachtungen und dunklen Deutungen stehen. So war der Magnetstein und seine Eigenschaft, das Eisen anzuziehen, schon dem frühesten griechischen Altertum bekannt. Da man der Seele das Vermögen etwas zu bewegen zuschrieb, glaubte man, daß der Magnet ähnlich wie das Tier und die Pflanze beseelt sei[2].

Auch das Verhalten des Magneten, durch andere Stoffe hindurch zu wirken, konnte nicht lange verborgen bleiben. So erzählt der römische Dichter Lukrez, der in seinem Lehrgedicht „De rerum natura“ die magnetischen Erscheinungen mit behaglicher Breite schildert: „Ich sah eiserne Spän' aufkochen und wallen in ehernen Schalen, wenn der magnetische Stein denselbigen untergelegt ward“[3]. Auch die bei Uneingeweihten das größte Staunen erregenden, schon Plato bekannten Ketten, welche aus eisernen, magnetisch gemachten Ringen bestanden, die nicht in-

---

1) Alhazen im 7. Buche seiner Optik. Siehe an späterer Stelle ds. Bds.

2) So heißt es bei Aristoteles (de anima I, 2): Auch Thales scheint die Seele für etwas Bewegendes gehalten zu haben, da er von dem Magneten sagt, daß er eine Seele besitze, weil er das Eisen bewegt.

3) Lukrez VI. v. 1043—1044.

einander griffen, sondern sich nur berührten, beschreibt Lukrez. Ja, er wagt sich sogar an eine Erklärung der magnetischen Erscheinungen. Wie von manchen Körpern, so sollen auch vom Magneten Teilchen ausströmen, welche die benachbarte Luft zurückdrängen. Infolgedessen „stürzen urplötzlich des Eisens Stoffe sich hin nach dem Leeren, und also geschieht es“ [1]).

Daß der Magnet zwei Pole besitzt und daß zwischen diesen eine Indifferenzzone liegt, scheint den Alten entgangen zu sein. Auch von der Richtkraft besaßen sie keine Kenntnis, während die Chinesen mit ihr schon mehrere tausend Jahre vor Beginn unserer Zeitrechnung vertraut waren.

Die Grunderscheinung der Reibungselektrizität ist den alten Völkern jedenfalls bekannt geworden, sobald sie durch den Handel in den Besitz des Bernsteins gelangten, da dieser in besonders auffälliger Weise nach dem Reiben leichte Körperchen anzieht. Auch an anderen Stoffen scheinen die Alten jene Eigenschaft gelegentlich bemerkt zu haben [2]), doch ahnten sie keinen Zusammenhang zwischen ihr und dem Gewitter. So erblickte Anaximenes in dem tötenden Blitz und dem rollenden Donner zwar nicht mehr, wie das in den Anschauungen einer heidnischen Naturreligion befangene Volk, das Geschoß und die Stimme des Zeus. Er war aber auch noch weit entfernt von einer richtigen Deutung der Erscheinung, denn er hält den Blitz für die in den Wolken verdichtete Luft, welche plötzlich mit Geräusch hervorbreche.

Auch das Phänomen der tierischen Elektrizität war den Alten wohl bekannt; es entzog sich aber jeder Einsicht. Gelang doch eine Erklärung der atmosphärischen Erscheinungen aus den Gesetzen der Reibungselektrizität erst im 18. Jahrhundert, während ein Verständnis der Gesetze der tierischen Elektrizität erst in der neuesten Periode nach der Entdeckung des Galvanismus aufging. „Dem Zitterrochen steht ein gefährliches Gift zu Gebote“, schreibt der griechische Verfasser eines im zweiten Jahrhundert n. Chr. entstandenen Lehrgedichtes [3]), „von Natur ist er schwach und so

---

[1]) Lukrez VI. v. 1005—1006. Lukrez lebte von 98 bis 55 v. Chr. Sein aus sechs Büchern bestehendes Lehrgedicht „De rerum natura“ befaßt sich mit den Grundlehren der Physik, der Psychologie und der Ethik. Von den Ausgaben sei hier diejenige Lachmanns erwähnt. 4. Aufl. Berlin 1871. Eine Übersetzung rührt von Seydel (München 1881) her.

[2]) So erwähnt Theophrast in seinem Buche über die Steine einen Edelstein, welcher durch Reiben elektrisch werde.

[3]) Oppian, de piscat. 2,43.

langsam, daß es aussieht, als könne er nur kriechen. Er besitzt auf jeder Seite ein Gewebe, welches denjenigen, der es berührt, sogleich jeder Kraft beraubt, sein Blut erstarren macht und seine Glieder lähmt.“ Plinius ahnt schon, daß man es hier mit einem Vorgang ganz eigener Art zu tun hat, wenn er sagt[1]): „Der Zitterrochen lähmt selbst aus der Ferne, sobald er nur mit der Lanze berührt wird, den stärksten Arm. Man ersieht daraus, daß es unsichtbare Kräfte gibt.“ Daß auch der menschliche Körper wie die Lanze diese eigentümliche Wirkung fortzuleiten vermag, ist zwar eine Entdeckung der neueren Zeit, doch erwähnt ein anderer Schriftsteller des Altertums, daß schon Betäubung eintritt, wenn man Wasser aus einem Gefäß, in welchem sich ein Zitterrochen befindet, auf die Hand oder den Fuß gießt[2]).

Erfreute sich die Physik im Altertum wenigstens auf einigen ihrer Gebiete schon einer wissenschaftlichen Behandlung, so war dies bezüglich der Chemie noch nirgends der Fall. Hier konnte ein Einblick in das Wesen der Erscheinungen nur auf Grund zahlreicher zielbewußter Versuche erlangt werden, und einer solchen Forschungsrichtung erwies sich die ältere Periode wenig geneigt. Was wir über die Anfänge der Chemie berichten können, ist nichts weiter, als daß man durch die Gewerbe, insbesondere den Hüttenbetrieb, mit einer Anzahl von chemischen Vorgängen bekannt wurde, ohne daß es gelang, eine Verknüpfung derselben unter sich oder mit anderen Gruppen von Erscheinungen zu finden. Alle Erklärungen, die man für das stoffliche Entstehen und Vergehen aufstellte, hatten nur den Wert bloßer Philosopheme, zu deren Prüfung man kein Mittel besaß. Am meisten Einfluß auf die weitere Beschäftigung mit chemischen Dingen hat wohl jene aristotelische Lehre gehabt, welche die Welt auf einen einzigen Urstoff zurückführte, der sich den Sinnen in vier Erscheinungsformen, als Feuer, Erde, Luft und Wasser, offenbaren sollte. Im Einklang mit dieser Lehre stand auch das gegen den Ausgang des Altertums sich bemerkbar machende Bestreben, unedle Metalle in edle zu verwandeln, ein Problem, das während des ganzen Mittelalters von den Alchemisten als Ziel und Zweck der Chemie betrachtet wurde.

Ohne Zweifel war man in Ägypten mit chemischen Vorgängen weit früher vertraut als in Griechenland. Die Glasbereitung,

---

1) Plinius, 32,1 u. 2.

2) Aelian, 9,14.

deren Erfindung man mit Unrecht den Phöniziern zugeschrieben hat, wurde in Ägypten schon in den ältesten Zeiten geübt. Auf den Denkmälern von Beni Hassan [1]) finden wir Glasbläser in voller Tätigkeit abgebildet. Als Materialien wurden Sand, Soda, Muschelschalen, Braunstein u. s. w. verwendet. Von sonstigen chemisch-technischen Gewerben wurde die Töpferei unter Anwendung von Emaille, sowie die Färberei mit Benutzung des Alauns als Beize

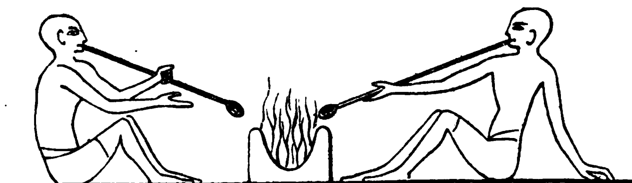


Abb. 5. Ägyptische Glasbläser bei der Ausübung ihrer Tätigkeit. (Aus de Rochas, Les origines de la science et ses premières applications. Paris 1884.)

ausgeübt. Als Mineralfarben gebrauchte man Zinnober und Eisenoxyd, wie sie die Natur darbietet. Mennige, Bleiweiß und Kienruß wurden künstlich hergestellt.

In besonders hohem Grade war die Metallurgie entwickelt. Gold, Silber, Kupfer und Eisen wurden aus den Erzen gewonnen oder, soweit sie gediegen vorkamen, ausgeschmolzen. Blei, das gleich dem Eisen sich nur selten als solches findet und aus Bleiglanz dargestellt wurde, fand im alten Rom zu Wasserleitungsröhren ausgedehnte Verwendung. Zinn und Zink waren wahrscheinlich nicht in reinem Zustande, sondern nur als Bestandteile von Legierungen bekannt. Diese wurden erhalten, indem man Zinnstein oder den zinkhaltigen Galmei den Kupfererzen bei ihrer Verhüttung zusetzte. Auch die Gewinnung des Quecksilbers durch Zusammenschmelzen von Zinnober und Eisen war schon im Altertum gebräuchlich.

Die Darstellung von chemischen Präparaten, soweit sie nicht durch bloße Oxydation entstehen, war kaum möglich, solange man sich noch nicht im Besitz der Mineralsäuren befand. Mit ihrer Darstellung waren die Alten jedoch noch nicht vertraut. Die einzige ihnen bekannte Säure war eine organische, nämlich die Essigsäure.

Die Tatsache, daß Marmor und Kalkstein beim Glühen eine neue Substanz liefern, die, mit Wasser in Verbindung gebracht,

1) Etwa 1800 v. Chr. entstanden.

ein vorzügliches Baumaterial abgibt, wußte man indes wohl zu verwerten. In der späteren Römerzeit finden wir auch Zement in Anwendung, ohne den manches gewaltige Bauwerk nicht ausführbar gewesen wäre.

Wir haben uns bisher diejenige Periode in ihren Grundzügen vergegenwärtigt, in welcher die ersten Keime der Wissenschaft entstanden, eine Periode, welche in der zusammenfassenden, systematisierenden Tätigkeit des Aristoteles ihren Höhepunkt erreichte. Frühzeitig traten uns geistige Regungen in den ionischen Kolonien entgegen, wo die Berührung des Griechentums mit der älteren orientalischen Kultur besonders innig war. Zu Hauptsitzen der Wissenschaft wurden darauf Athen und die blühenden Städte Unteritaliens, dort durch Aristoteles und seine Schule, hier durch die Pythagoreer und Archimedes. In beiden Fällen hatte das Emporblühen von Handel und Gewerbe zuerst einen gewissen Wohlstand und eine Erweiterung des geistigen Horizontes geschaffen.

Wie Alexander durch gewaltige Machtentfaltung die Welt, so hatte Aristoteles das gesamte Wissen seiner Zeit zu umspannen gesucht. Zu einer dauernden Beherrschung der übrigen Völker waren die Griechen indessen nicht im stande; mit dem Tode des großen Eroberers zerfiel auch sein Reich. Anders gestalteten sich die Dinge auf dem Gebiete der Wissenschaft. Hier kann wohl von einer dauernden Herrschaft der Griechen die Rede sein. Sie wurden die Lehrer der alten Völker, während Rom die Rolle der Weltherrscherin zufiel. Die Blütezeit des Griechentums auf dem Gebiete der Kunst, insbesondere demjenigen der Dichtkunst, war zwar damals vorüber, umsomehr entfaltete dafür der wissenschaftliche Geist seine Schwingen.

Während des nationalen und wirtschaftlichen Niederganges, der sich im Mutterlande selbst gegen den Beginn unserer Zeitrechnung bemerkbar machte, wurde das Griechentum, insbesondere das gelehrte, kosmopolitisch. Der Sitz griechischer Weisheit wurde nach Alexandrien verlegt, welches durch günstige Lage, durch seinen Reichtum, sowie das geistige Interesse, welches die ägyptischen Herrscher bekundeten, geeignet war, die weitere Pflege der Wissenschaften zu übernehmen.

Die Herrschaft über Ägypten war nach dem Tode Alexanders in die Hände des Ptolemäos Lagi übergegangen. Dieser Fürst, dessen Geschlecht den ägyptischen Thron inne hatte, bis im Jahre 30 v. Chr. das Land römische Provinz wurde, zog eine große Zahl

von griechischen Gelehrten, insbesondere aus Athen, an seinen Hof. Er wurde dadurch der Begründer der alexandrinischen Schule, welche berufen war, die Fackel der Wissenschaft nahezu ein Jahrtausend hochzuhalten. Die äußeren Einrichtungen für jene gelehrte Körperschaft fanden ihre Vollendung durch Ptolemäos Philadelphos[1]). Dieser Herrscher errichtete ein prächtiges Gebäude, welches den Gelehrten Wohnungen und Räume zur Ausübung ihrer Tätigkeit bot; auch gründete er die berühmte alexandrinische Bibliothek. Letztere blieb bis in das Mittelalter hinein erhalten, in dessen Stürmen sie endlich unterging.

Fast sämtliche Gelehrte der alten Zeit, von denen jetzt noch die Rede sein wird, gehörten entweder der alexandrinischen Akademie an, oder sie haben mit ihr in mehr oder weniger enger Fühlung gestanden. Auf einige hervorragende Mitglieder und ihre grundlegende Tätigkeit wurde schon Bezug genommen, so auf die Ermittelung des Erdumfanges durch Eratosthenes und die Verdienste des Ptolemäos um die Optik. Im allgemeinen ist das Wirken dieser Männer indes nicht mehr grundlegend, sondern auf die Erhaltung und die Fortentwicklung aller während des Altertums gewonnenen Ansätze gerichtet gewesen. Ihre Arbeiten betrafen dementsprechend nicht nur die Mathematik und die Naturwissenschaften, sondern das ganze Gebiet des damaligen Wissens von der Philosophie und anderen Gebieten des reinen Denkens bis zu der Beschäftigung mit den konkretesten Dingen gehörte zu ihrem Bereich. Häufig beschränkten sie sich auf ein bloßes Kommentieren der vorhandenen Schriften, wie es bezüglich der Zoologie und der Botanik der Fall war. Wo aber das deduktive Verfahren Anwendung finden konnte, wie auf dem Gebiete der reinen Mathematik, fand eine rasche Fortentwicklung der übermittelten Keime statt.

Zu den frühesten Mitgliedern der alexandrinischen Schule gehört Euklid, dessen Name eng mit der Geschichte der Mathematik verbunden ist, einer Wissenschaft, welche nicht etwa erst in der neueren Zeit, sondern auch schon im Altertum in hohem Grade das Emporblühen der Naturwissenschaften bedingt hat. Die Lebensumstände des Euklid sind wenig bekannt; schon bezüglich seines Geburtsortes, sowie seines Studienganges schwanken die Angaben. Sicher ist, daß Euklid zu Beginn der Ptolemäerzeit, also um 300 v. Chr., in Alexandrien gelebt hat. Dem Ptolemäos

1) 281—247 v. Chr.

Lagi gegenüber, welcher das mathematische Studium erleichtert zu sehen wünschte, soll er den bekannten Ausspruch: „Es gibt keinen Königsweg zur Mathematik!" getan haben. Unter den auf uns gekommenen Werken des Euklid[1]) nehmen die „Elemente" den ersten Platz ein. Sie wurden wegen ihrer Vollständigkeit und ihrer strengen Beweisführung in solchem Grade als mustergültig anerkannt, daß sie bis in die neueste Zeit hinein von manchen dem Anfangsunterricht zu grunde gelegt wurden. In seine „Elemente" hat Euklid das ganze damals bekannte mathematische Wissen aufgenommen und es, wo dies bis dahin noch nicht geschehen war, auf strenge Beweise gestützt. Dementsprechend umfaßt das Werk die Geometrie der Ebene und des Raumes und geht auch auf die Lehre von den Zahlen, als der Grundlage alles Messens, ein.

Der bedeutendste Nachfolger Euklids unter den alexandrinischen Mathematikern war Apollonios von Pergä, der sich besonders um die Begründung der Lehre von den Kegelschnitten verdient gemacht hat. Die Namen Ellipse, Parabel, Hyperbel sollen von ihm herrühren. Apollonios zeigte, wie diese Kurven auf der Oberfläche eines Kegels entstehen, wenn durch letzteren Ebenen gelegt werden. Auch das schwierige Gebiet der Asymptoten, die sich den Ästen der Hyperbel nähern, ohne sie zu schneiden, hat Apollonios begründet[2]).

Mit der Lehre von den Kegelschnitten wurde für die spätere Entwicklung der Astronomie und der Mechanik eine wichtige Grundlage geschaffen. Das gleiche gilt auch von der Trigonometrie, welche aus den Bedürfnissen der Astronomie entsprang und von Hipparch und Ptolemäos begründet wurde. Bekanntlich konnte Aristarch, als er den Sonnenabstand aus gegebenen Stücken eines Dreiecks berechnete, die gesuchte Größe nur auf umständlichem Wege durch Näherungswerte bestimmen. Ähnliche Schwierig-

---

1) Eine eingehende Analyse derselben gibt Cantor in seiner Geschichte der Mathematik. 1880. Bd. I. S. 221—252. Vergleiche auch Cantor, Euklid und sein Jahrhundert (Leipzig, 1867). Eine neuere Ausgabe sämtlicher Werke Euklids rührt von Heiberg und Menge her (Leipzig 1883—1896).

2) Des Apollonios Schrift über die Kegelschnitte wurde 1861 in deutscher Bearbeitung von H. Balsam herausgegeben. Die in der Ursprache erhaltenen Schriften gab Heiberg heraus (Leipzig, 1891—1893). Mehrere Bücher des Apollonios sind nur in arabischer Übersetzung bekannt. Apollonios lebte um 200 v. Chr. in Alexandrien. Die ersten Ansätze zur Erforschung der Kegelschnitte finden sich schon bei dem im 4. Jahrh. v. Chr. lebenden Menächmos.

keiten boten vor Hipparch zahlreiche Aufgaben dar. Letzterer entwarf daher als erstes trigonometrisches Hilfsmittel eine Sehnentafel, indem er für die Winkel im Kreise den Wert der zugehörigen Sehnen in Teilen des Halbmessers ausdrückte. Die Berechnung dieser Tafel war sehr mühsam. Sie wies anfangs bedeutende Lücken auf, welche man indes durch Interpolation auszufüllen suchte. Erst von Ptolemäos wurden die Sehnen aller Winkel von 0°—180°, nach halben Graden fortschreitend, mit hinreichender Genauigkeit bestimmt. Seine Tafel, welche einen wesentlichen Teil des $1^1/_2$ Jahrtausende die Astronomie beherrschenden Ptolemäischen Werkes ausmachte, hat während der genannten Zeit den Astronomen an Stelle unserer heutigen trigonometrischen Tabellen große Dienste geleistet.

Aus den vorerwähnten bedeutenden Fortschritten, welche die Mathematik erfuhr, zog unter allen Wissenschaften die Astronomie den größten Nutzen. Es beginnt für sie die Periode des messenden und systematischen Beobachtens. Und wenn das Ergebnis auch noch nicht in der richtigen Erkenntnis des Weltsystems bestand, so gelangte man doch zur klaren Auffassung vieler nur vermöge exakter Messung wahrnehmbarer Erscheinungen. Vor allem waren es die Alexandriner Hipparch und Ptolemäos, welche als die Väter der astronomischen Wissenschaft dieselbe Bedeutung besitzen, die Aristoteles und Archimedes hinsichtlich der Zoologie und der Mechanik zugeschrieben werden muß.

In dem ersten Entwicklungsstadium der Astronomie hatte man sich darauf beschränkt, die Stellung der wichtigeren Fixsterne dadurch festzulegen, daß man dem Himmel gewisse Figuren einzeichnete. Mitunter brachten diese Sternbilder auch äußerliche Ähnlichkeiten zum Ausdruck, wie z. B. beim Wagen, von dem schon Homer sagt, daß er „niemals in Okeanos' Bad sich hinabtaucht"[1]. In den Beginn des alexandrinischen Zeitalters fällt nun der Versuch einer genaueren, durch Winkelmessung vermittelten Ortsbestimmung der wichtigsten Fixsterne. Man bezog ihre Stellungen auf die Punkte, in denen die Sonnenbahn den Himmelsäquator schneidet, und bestimmte bei einer größeren Anzahl auch den Abstand vom Äquator bis auf den Bruchteil eines Grades. Ein solches Fixsternverzeichnis, welches etwa 150 Angaben umfaßte, befand sich in den Händen des Hipparch, als plötzlich im Jahre 134 v. Chr. eines der seltensten astronomischen Ereig-

[1] Odyssee V, 273.

nisse, nämlich das Auftauchen eines neuen Sternes erster Größe, eintrat[1]). Bot somit die Fixsternregion, welche Aristoteles als den Ort des unwandelbaren Seins bezeichnet hatte, derartige plötzliche Veränderungen dar, so mußte sich in den Astronomen der Wunsch nach einer genauen Topographie des Himmels regen, um auf solche Weise späteren Zeiten eine stete Kontrolle zu ermöglichen. In den auf jenes Ereignis folgenden Jahren bestimmte deshalb Hipparch mehr als tausend Sternörter. Er löste dadurch nicht nur die gestellte Aufgabe, sondern machte außerdem die wichtige Entdeckung, daß der Frühlingspunkt seine Lage langsam ändert. Für einen der hervorragendsten Sterne des Tierkreises, die Spica in der Jungfrau nämlich, ergab sich, daß er 6° vom Frühlingspunkte entfernt war, während der 150 Jahre früher gemessene Abstand 8° betrug[2]). Die Breite der Fixsterne war dagegen unverändert geblieben. Dieses Vorrücken des Frühlingspunktes[3]) glaubte Hipparch aus seinen und den älteren Beobachtungen auf mindestens einen Grad für ein Jahrhundert, also auf 36″ für das Jahr ansetzen zu dürfen, während es in Wahrheit etwa 50″ beträgt.

Auch daß die Erde sich in der Sonnennähe schneller bewegt als in der Sonnenferne, wurde von Hipparch entdeckt, wenn er auch diese Bewegung auf unser Zentralgestirn übertrug, an dem sie ja nur scheinbar vor sich geht. Da man im Altertum an der aristotelischen Voraussetzung festhielt, daß die Bewegung der Himmelskörper gleichförmig und im Kreise erfolge, so erklärte Hipparch die beobachtete Erscheinung aus der Epizyklentheorie, indem er die Sonne einen Kreis durchlaufen ließ, dessen Mittelpunkt sich auf einem größeren um die Erde gespannten Kreise fortbewegen sollte. Die genauere Erforschung der scheinbaren Sonnenbewegung führte Hipparch ferner zu der Entdeckung, daß die Länge des Jahres, d. h. der Zeit zwischen zwei Durch-

1) Der neue Stern trat, wie auch aus chinesischen Berichten hervorgeht, im Sternbilde des Skorpions auf.

2) Nach den Angaben von Aristyll und Timocharis. Siehe Seite 18 ds. Bds.

3) Diese Erscheinung erklärt sich daraus, daß die Erdachse innerhalb eines Zeitraums von 26 000 Jahren einen Kegelmantel beschreibt. Infolgedessen ändert der Himmelsäquator, welcher sich als eine Projektion des Erdäquators darstellt, gleichfalls seine Lage innerhalb derselben Periode. Der Vorgang wird als Präcession oder Vorrücken der Nachtgleichen bezeichnet, weil dabei der Frühlings- und der Herbstpunkt langsam ihren Ort im Sinne der täglichen Umdrehung ändern.

gängen des Sonnenzentrums durch den Frühlingspunkt, nicht, wie vor ihm angenommen, $365^1/_4$ Tage beträgt, sondern etwas kürzer ist[1]. Eine schärfere Bestimmung der Mond- und Planetenbewegungen, wie sie am Himmelsgewölbe vor sich zu gehen scheinen, hat Hipparch gleichfalls in Angriff genommen. Die befriedigende Lösung dieser Aufgabe gelang jedoch erst Ptolemäos, dessen Bedeutung für die astronomische Wissenschaft späterer Würdigung vorbehalten bleibt.

Auch das durch die Zahlenmystik der Pythagoreer angeregte, von Aristarch behandelte Problem, die Entfernung und die Größe der Himmelskörper zu bestimmen, beschäftigte Hipparch. Behufs der Lösung dieser Aufgabe führte er den Begriff der Parallaxe ein, worunter er den Winkel verstand, unter welchem der Erdhalbmesser von dem Gestirne aus erscheint, dessen Abstand gemessen werden soll. Seine Bestimmungen ergaben für die Entfernung des Mondes 59 Erdhalbmesser. Dieser Wert kommt der Wahrheit nahe[2], während die von Hipparch herrührenden Werte für die Entfernung und die Größe der Sonne von der Wirklichkeit erheblich abweichen.

Die geschilderten Fortschritte der Astronomie trugen dazu bei, daß auch die Geographie immer mehr einen wissenschaftlichen Charakter erhielt. Dies sprach sich vor allem darin aus, daß sie sich der astronomischen Ortsbestimmung zu bedienen anfing. Bis dahin waren die geographischen Karten bloße Itinerarien gewesen, d. h. auf Grund der von den Reisenden angegebenen Wegelängen und der eingeschlagenen Himmelsrichtung entworfen worden. Hipparch führte nun die Bestimmung nach geographischer Länge und Breite ein. Als Anfangsmeridian wählte er denjenigen, welcher die Insel Rhodos schneidet, da er hier einen Teil seiner Beobachtungen angestellt hatte. Während die Breite, nachdem man ihren Zusammenhang mit der Polhöhe erkannt, leicht bestimmt werden konnte, machte die Feststellung der Länge Schwierigkeiten, welche noch im Zeitalter Newtons lebhaft empfunden und erst durch die immer weiter gehende Vervollkommnung der Chronometer gehoben wurden. Auch Hipparch brachte eine Art von

1) Hipparch nahm die Dauer des tropischen Jahres zu 365 Tagen 5 Stunden 55′ an, während sie in Wahrheit 365 Tage 5 Stunden 48′ 51″ beträgt.

2) Die mittlere Entfernung zwischen den Mittelpunkten von Mond und Erde beträgt 60,27 Halbmesser des Erdäquators oder 384400 km.

chronometrischem Verfahren in Vorschlag. Unter der Voraussetzung, daß der Eintritt einer Himmelserscheinung, z. B. der Beginn einer Mondfinsternis, von allen Bewohnern eines Erdteils in demselben Augenblicke gesehen wird, sollte die Zeit des Eintritts für verschiedene Orte festgestellt und aus dem Zeitunterschied der Unterschied der Längen berechnet werden.

Während so die Astronomie und die Geographie sich mächtig entwickelten und bald nach Beginn der christlichen Zeitrechnung innerhalb derselben alexandrinischen Schule durch Ptolemäos eine zweite Blütezeit erlebten, schien die Mechanik nach den hoffnungsvollen Anfängen, welche man dem Archimedes verdankte, zum Stillstande verurteilt zu sein, obgleich sich auch diese Wissenschaft für die Anwendung des durch die Mathematik gebotenen deduktiven Verfahrens so sehr eignete. Abgesehen von der Schwerpunktsbestimmung körperlicher Gebilde[1] — Archimedes hatte sich hierbei auf Flächen beschränkt — machte die theoretische Mechanik keine wesentlichen Fortschritte. Um so mehr war man aber während der alexandrinischen Zeit auf die Fortbildung der praktischen Mechanik bedacht. Man versah z. B. die Wasseruhren mit einer Zeigervorrichtung und erfand die Feuerspritze[2]. Diese besaß, nach einem im 18. Jahrhundert aufgefundenen, aus der römischen Kaiserzeit herrührenden Exemplar[3] zu urteilen, schon im Altertum eine im wesentlichen der heutigen entsprechende Einrichtung. Auch gewann man damals einige Kenntnis von der Natur der Gase und Dämpfe. Besonderen Ruhm auf diesem Gebiete erlangte Heron von Alexandrien, dessen Name noch heute in einem bekannten Apparat unserer physikalischen Sammlungen, dem Heronsball, fortlebt. Herons Blütezeit fällt wahrscheinlich um das Jahr 100 v. Chr. Seine „Pneumatik" ist das erste auf uns gelangte Werk[4], welches sich mit Versuchen über die Eigenschaften der Luft und der gespannten Dämpfe beschäftigt. Er beschreibt eine große Anzahl von Apparaten, welche durch erwärmte Luft oder Dampf in Bewegung gesetzt werden. Handelt es sich auch zum

---

1) Durch den Alexandriner Pappos, welcher im 3. oder 4. Jahrhundert n. Chr. lebte und als der eigentliche Entdecker der Guldinschen Regel zu betrachten ist.

2) Die Erfindung der Feuerspritze wird dem Ktesibios (um 150 v. Chr geboren) zugeschrieben. Siehe Vitruvius, de architectura, X, 7.

3) 1795 in der Nähe von Civita Vecchia ausgegraben.

4) Herons von Alexandria Pneumatica et automata. Griechisch und deutsch herausgegeben von Wilhelm Schmidt. Teubner. Leipzig 1899.

Teil um physikalische Spielereien, so begegnet uns doch manches, was den Anstoß zu späteren Erfindungen gegeben hat. Insbesondere gilt dies von einem Apparat, bei welchem der Dampf in derselben Weise einen Körper in drehende Bewegung versetzt, wie es das ausströmende Wasser bei den Reaktionsrädern bewirkt. Die Maschine Herons besteht aus einem Kessel, von dem zwei senkrechte Röhren a ausgehen[1]). Zwischen ihnen befindet sich eine drehbare Hohlkugel mit zwei Ansätzen, aus welchen der in die Hohlkugel geleitete Dampf in tangentialer Richtung entweicht. Dadurch wird die Kugel in Drehung versetzt. Einige Abschnitte aus der Pneumatik Herons bilden das fünfte durch 4 Abbildungen erläuterte Kapitel des I. Bandes. Diese Abschnitte handeln vom Äolsball, vom Heronsball und vom Heber. Was die Natur der Luft betrifft, so meint Heron, daß sie aus Teilchen bestehe, welche durch leere Zwischenräume getrennt seien. Dies beweise zumal der Umstand, daß sich noch Luft in eine Kugel zu der darin vorhandenen füllen lasse, was darauf beruhe, daß die neuen Luftteilchen an Stelle der leeren Räume treten. Wolle man annehmen, daß die Luft den vorhandenen Raum ganz ausfülle, so würde eine Kugel beim Hineinbringen einer weiteren Luftmenge platzen müssen.

Während man sich in den unserer Zeitrechnung vorangehenden Jahrhunderten in der Stille des alexandrinischen Gelehrtentempels die Welt zu erkennen mühte, hatte man von einem anderen Punkte aus begonnen, sie durch die Gewalt der Waffen zu unterjochen. Griechenland war schon vor länger als einem Jahrhundert römische Provinz geworden, als im Jahre 30 v. Chr. Ägypten dasselbe Schicksal ereilte. Die politische Umgestaltung dieses Landes vollzog sich jedoch allmählich, da der römische Einfluß sich schon lange vor jenem Zeitpunkt in stetig wachsendem Maße geltend gemacht hatte. Diese Umgestaltung war daher auch für die Wissenschaften nicht von solch einschneidender Bedeutung wie später das Hereinbrechen entfesselter barbarischer Horden. In dem Maße wie die Römer das dem Osten sein geistiges Gepräge verleihende Griechentum politisch überwanden, nahmen sie den Inhalt der griechischen Bildung in sich auf. Sie wurden zwar die Herren, aber auch zugleich die Schüler der Griechen. Meister sind sie auf dem Gebiete der Kunst und Wissenschaft indessen nicht geworden. Weit eher entsprach ihrem ganzen Sinne, sowie ihren

[1]) Siehe Bd. I d. Werkes. Fig. 1 und 2,

Bedürfnissen eine Fortentwicklung der Technik. Auf diesem Felde haben sie, wie die großartigen Überreste ihrer Werke noch heute bezeugen, die Griechen zweifelsohne übertroffen. Dennoch erfuhr die wissenschaftliche Grundlage der auf das Bauwesen gerichteten Technik, die Mechanik nämlich, durch die Römer keinen wesentlichen Fortschritt. Wurde auch während der Kaiserzeit Rom, nachdem es zum politischen Mittelpunkt der Welt geworden, neben Alexandrien mehr und mehr zu einem Sitz der Wissenschaften, so kann man doch von einem römischen Zeitalter der letzteren nicht sprechen. Darüber, sich die Elemente der griechischen Bildung anzueignen, sind die Römer kaum hinausgekommen, während in dem römisch gewordenen Alexandrien ein neuer bedeutender Aufschwung die ersten Jahrhunderte unserer Zeitrechnung ausfüllte.

Es sind manche Vermutungen darüber ausgesprochen worden, weshalb die Römer das von den Griechen begonnene Werk nicht fortgesetzt haben, so daß auf die Begründung der Wissenschaften unmittelbar der weitere Ausbau derselben gefolgt wäre. Die einen erblicken die Ursache dieser Erscheinung in dem Mangel des experimentellen Verfahrens, obgleich doch, wie wir sahen, die Ansätze zu einem solchen in der Blütezeit der alexandrinischen Periode wohl vorhanden waren. Andere meinen, die Römer, welche zwar die berufenen Erben der Griechen gewesen seien, hätten bei ihrer Aufgabe, die Welt zunächst zu erobern und dann sie zu beherrschen, weder Zeit noch Sinn für die Beschäftigung mit wissenschaftlichen Dingen besessen. Auch den Mangel an Werkzeugen für die wissenschaftliche Arbeit, wie sie die neuere Zeit in Fülle hervorbrachte, hat man dafür verantwortlich machen wollen, daß die Wissenschaft nach ihrer Begründung keine unmittelbare Fortsetzung erfuhr.

Die Einflüsse, welche die in Frage stehende, sowie ähnliche Erscheinungen in der Entwicklung der Kultur und des Geisteslebens herbeigeführt haben, sind für uns, die wir solch entlegene Zeiten durch ein sehr getrübtes Medium erblicken, nicht mehr scharf erkennbar. Jedenfalls haben hier nicht eine oder einige der genannten Ursachen mitgespielt, sondern es hat ein Zusammenwirken zahlreicher Umstände stattgefunden. Die Anlagen, welche auch bei nahe verwandten Völkern nicht immer die gleichen sind, sowie die Macht der politischen und der religiösen Verhältnisse werden jedenfalls hierbei in erster Linie den Ausschlag gegeben haben.

Das umfassendste Denkmal von dem Wissen der Römer besitzen wir in der „Naturgeschichte“ des Plinius. Dieses Werk enthält zahlreiche Angaben, welche ohne die gewissenhafte Aufzeichnung des römischen Ritters verloren gegangen wären.

Cajus Plinius Secundus Major wurde im Jahre 23 n. Chr. zu Como geboren. Obgleich er sich dem Kriegshandwerk gewidmet hatte und später, als er unter Nero und Vespasian höhere Ämter bekleidete, stets im Drange der Geschäfte lebte, fand dieser merkwürdige Mann doch Muße, das gesamte Wissen seiner Zeit in einem Sammelwerke zu umspannen. In der an Vespasian gerichteten Widmung konnte er von seinem Unternehmen mit Recht sagen: „Der Weg, den ich wandeln werde, ist unbetreten; keiner von uns, keiner von den Griechen hat es unternommen, allein das Ganze der Natur zu behandeln. Gelingt mir mein Unternehmen nicht, so ist es doch schön und großartig, danach gestrebt zu haben.“

Aus nicht weniger als 2000 Werken hat Plinius den Stoff für die „Naturgeschichte“ geschöpft. Seine Arbeitskraft ist zu bewundern, zumal er sie nur in den Stunden, welche ihm die Geschäfte übrig ließen, also besonders, wie er selbst erzählt, zu nächtlicher Zeit auf das Werk verwenden konnte. Ohne seine Mühe würde die Nachwelt von der Mehrzahl der benutzten Schriften keine Kenntnis besitzen. Doch muß andererseits bemerkt werden, daß Plinius sich nicht auf die Stufe selbständigen Forschens und Denkens erhebt. Ja, er bringt sogar manches, was er offenbar nicht einmal genügend verstanden hat. Da er meist kritiklos verfährt, wird oft Wahres und Falsches von ihm miteinander vermengt. Man gewinnt den Eindruck, daß Plinius sein Wissen nicht aus der Natur, sondern aus Büchern geschöpft hat, was bei einem Manne, der einen Spaziergang als Zeitvergeudung betrachtete, nicht wundernehmen kann.

Bekannt ist das traurige Ende des Plinius. Als er sich mit einer von ihm befehligten Flotte im Jahre 79 n. Chr. in der Nähe von Neapel aufhielt, begann plötzlich jener furchtbare Ausbruch des Vesuv, durch den Herculanum und Pompeji vernichtet wurden. Der unerschrockene Römer ließ sich nicht abhalten, der Stätte des Verderbens zuzueilen, mag ihn nun Pflichtgefühl oder Wißbegierde dazu angetrieben haben. Nach der Landung ist er dann der Wut des entfesselten Elementes zum Opfer gefallen.

Von seinem Werke, welches sein Neffe Plinius Minor „ein weitläufiges, gelehrtes und nicht minder vielseitiges Werk wie die Natur selbst“ nennt, sowie von dem darin obwaltenden

Bestreben hat schon der 6. Abschnitt des I. Bandes eine Probe geliefert. Hier erübrigt noch, wenigstens einige bemerkenswerte Punkte zu erwähnen, da des Umfangs und der Mannigfaltigkeit des Inhalts wegen von einer eingehenderen Behandlung keine Rede sein kann [1]).

Zu der Lehre von der Kugelgestalt der Erde ist die Ansicht getreten, daß das Menschengeschlecht viel weiter verbreitet sei, als man früher glaubte, ja, daß es Gegenfüßler geben müsse. „Die Wissenschaft und die Meinung des großen Haufens", sagt Plinius [2]), befinden sich in gewaltigem Widerspruch. Jener zufolge wird die Erde ringsum von Menschen bewohnt, sodaß sie mit den Füßen gegeneinander stehen und den Himmel alle gleichmäßig über dem Scheitel haben. Nach der anderen fragt man, warum denn die Antipoden nicht abfielen. Als ob nicht die Gegenfrage zur Hand wäre, warum jene sich nicht verwundern, daß wir nicht abfallen. Am meisten aber sträubt sich der große Haufe, wenn man ihm glaublich machen will, daß auch das Wasser gewölbt sei, und doch ist nichts augenfälliger, denn überall bilden hängende Tropfen sich zu kleinen Kugeln."

Dem Monde und sogar den Fixsternen, denen wir heute keine nachweisbaren Einflüsse auf irdische Vorgänge beimessen, schrieb das Altertum, wie wir aus der Naturgeschichte des Plinius ersehen, solche zu. So heißt es dort [3]): „Daß mit dem Aufgang des Hundes, dessen Einfluß auf die Erde in der weitesten Ausdehnung empfunden wird, die Wärme der Sonne sich verstärkt, wer wüßte das nicht? Bei seinem Aufgang schäumt das Meer, der Wein wird unruhig in den Kellern, und die Sümpfe beginnen zu gären." Daß der Mond bei der Erregung von Ebbe und Flut eine wichtige Rolle spielt, hatte man damals wohl erkannt, doch erklärte man die Erscheinung in einem durchaus mystischen Sinne, indem man den Mond als das Gestirn des Odems ansah. Daher sollten sich bei der Annäherung des Mondes alle Körper füllen. Um seine Leser in dieser Ansicht zu bestärken, behauptet Plinius, daß bei zunehmendem Monde die Muscheln größer würden; ja, auch das Blut im menschlichen Körper mehre und mindere sich wie das Licht dieses Gestirns [4]). „Ebbe und Flut des Meeres", sagt Plinius, „haben bei

[1]) Eine Zusammenstellung der chemischen Kenntnisse des Plinius gab neuerdings E. O. v. Lippmann. Siehe Naturw. Rundschau. Bd. IX. 1894.

[2]) Plinius Naturgeschichte, II, 65.

[3]) Plinius Naturgeschichte. II, 40.

[4]) A. a. O. II, 99.

aller Abwechslung doch ihre Ursache nur in der Sonne und dem Monde. Indessen treten die Gezeiten nie wieder zu derselben Stunde ein wie Tags zuvor, weil sie dem gierigen Gestirn, das alle Tage an einer anderen Stelle aufgeht, gewissermaßen dienstbar sind. Bei Vollmond ist die Flut am heftigsten. Auch tritt die Flut zwei Stunden später ein, als sich der Mond aus der Mittagslinie abwärts senkt, da die Wirkung aller Erscheinungen am Himmel später zur Erde gelangt, als die Erscheinung selbst stattfindet. Die offene große Fläche des Meeres empfindet die Macht des weithin wirkenden Gestirnes nachdrücklicher als engbegrenzte Räume, daher werden auch weder Seen noch Flüsse auf solche Weise in Bewegung versetzt[1])."

Auf dem Gebiete der beschreibenden Naturwissenschaften finden wir bei Plinius einen entschiedenen Rückgang gegen Aristoteles und Theophrast. Manche zoologische Mitteilung älterer Schriftsteller, welche Aristoteles in das Gebiet der Fabel verwiesen hatte, nimmt Plinius unbeanstandet wieder auf. Von einem systematischen Aufbau der Zoologie und der Botanik ist bei ihm nicht die Rede. Ja, bezüglich der letzteren Wissenschaft bleibt er noch hinter Theophrast zurück, indem er für die Einteilung der Pflanzen den reinen Nützlichkeitsstandpunkt vertritt. Er unterscheidet nämlich Arzneipflanzen, Spezereien u. s. w. Eine richtige Auffassung finden wir bei Plinius bezüglich derjenigen Tiere, welche Aristoteles „Blutlose" nannte. „Daß die Insekten kein Blut haben", sagt er[2]), „gestehe ich zu, doch besitzen sie dafür eine gewisse Lebensfeuchtigkeit, die für sie Blut ist."

Wichtg war es, daß man sich während der Römerzeit über die Bedenken hinwegsetzte, welche bis dahin von einem Eindringen in den Bau und die Verrichtungen des menschlichen Körpers abgehalten hatten. Schon bald nach Aristoteles, dessen anatomisches Wissen, wie wir sahen, wenigstens in bezug auf den Menschen, noch gering war, unterschied man Arterien und Venen. Auch bemerkte man, daß ihre Verzweigungen dicht nebeneinander liegen. Da man die Arterien jedoch beim Zerschneiden des toten Körpers leer fand, so glaubte man, daß es ihre Aufgabe sei, im lebenden Organismus Luft zu führen[3]). Zu einer noch mit vielen

1) A. a. O. II, 97.

2) A. a. O. XI, 3.

3) Die genannten Entdeckungen machte Erasistratus, einer der bedeutendsten Anatomen der vorchristlichen Zeit (geb. 280 v. Chr.), welcher auch den Bau des Gehirns untersucht haben soll. Sein Zeitgenosse Herophilus lieferte eine genaue Beschreibung des Auges.

Unrichtigkeiten durchsetzten Vorstellung von der Bewegung des Blutes, deren wahren Verlauf erst Harvey im 17. Jahrhundert erkannte, kam der römische Arzt Galen (131—200 n. Chr.). Galen hatte seine Ausbildung in Griechenland empfangen, übte aber die ärztliche Kunst in Rom aus und hielt dort auch Vorlesungen über Anatomie. Die Bewegung des Blutes schildert er folgendermaßen, wobei wir uns der heutigen Bezeichnungsweise bedienen wollen[1]): „Durch die Venen gelangt das Blut zum rechten Teil des Herzens. Mittelst der Wärme des Herzens werden die noch brauchbaren Teile von den unbrauchbaren geschieden. Die letzteren werden durch die Lungenarterie zu den Lungen geführt und beim Ausatmen entfernt, während gleichzeitig die Lungen Pneuma aus der Atmosphäre anziehen[2]). Dieses gelangt durch die Lungenvenen zum linken Herzen, verbindet sich hier mit dem durch die Herzscheidewand getretenen Blute und wird alsdann durch die Aorta in alle Teile des Körpers und endlich durch die Kapillargefäße in die Venen geführt.“ Von dem großen Kreislauf des Blutes hatte Galen also eine im ganzen richtige Vorstellung, während ihm unbekannt blieb, daß die ganze Masse des Blutes nach Vollendung dieses Kreislaufs durch die Lungen getrieben wird. An die Stelle einer richtigen Auffassung der Atmung und der tierischen Wärme, welche erst durch die fortschreitende Einsicht in den chemischen Prozeß ermöglicht wurde, tritt bei Galen das mystische Pneuma. Darunter dachte man sich nicht die Luft selbst, sondern ein ihr innewohnendes belebendes Prinzip.

Auch zu einem im ganzen richtigen Verständnis der Muskeln, Sehnen und Nerven war Galen gelangt, durch dessen Tätigkeit die Heilkunde erst auf die Stufe einer Wissenschaft gehoben wurde. Vor allem war es die Chirurgie, welche aus der gewonnenen Einsicht in den anatomischen Bau des Körpers Nutzen zog. Die Zoologie und die Botanik büßten dagegen im Vergleich zu der Behandlung, welche ihnen Aristoteles und Theophrast angedeihen ließen, an Wissenschaftlichkeit ein und wurden nur noch mit Rücksicht auf das medizinische Bedürfnis gefördert. So entstand, kurz bevor Plinius schrieb, die Arzneimittellehre des Dioskorides. In ihr finden wir etwa 500 Pflanzen behandelt,

---

1) H. Haeser, Lehrbuch der Geschichte der Medizin, Jena 1853. Bd. I. S. 154.

2) Galen meint, daß man den belebenden Bestandteil der Luft, den er als Pneuma bezeichnet, später noch entdecken werde.

welche indes so oberflächlich beschrieben sind, daß es schwer hält, die Arten mit Sicherheit zu erkennen.

Trotzdem blieb das Werk des Dioskorides[1] für das gesamte Mittelalter, ja noch darüber hinaus von großer Bedeutung. Nicht nur, daß Dioskorides als unanfechtbare Autorität auf den erwähnten Gebieten galt, sondern die Begründer der neueren Botanik knüpften im Beginn des 16. Jahrhunderts vielfach an ihn an. Sie waren von dem Bemühen geleitet, die von Dioskorides beschriebenen Pflanzen wieder aufzufinden, wodurch der Sinn für die Natur zu neuem Leben erweckt wurde.

Ein ganz besonderes Interesse, welches selbst gekrönte Häupter ergriff, wandte man im Altertum der Erforschung giftiger Pflanzen zu. König Attalos von Pergamon, so erzählt uns Plutarch[2], baute giftige Gewächse, wie Bilsenkraut, Nieswurz, Schierling, Sturmhut, und machte ein besonderes Studium daraus, ihre Säfte kennen zu lernen und zu sammeln. Mithridates von Pontus ging so weit, daß er die Wirkung der Gifte durch Versuche an Menschen feststellte[3]. Förderung der Wissenschaft ließ sich jedoch von solchen Männern, welche einzig von selbstsüchtigen oder verbrecherischen Zwecken geleitet wurden, nicht erwarten. Ebenso müssen die Vivisektionen, denen damals Menschen unterworfen wurden, mehr als ein Zeichen des unter der römischen Weltherrschaft immer mehr um sich greifenden sittlichen Verfalls als eines ungezügelten Wissensdranges gelten.

In die Zeit der Römerherrschaft fällt, wie schon erwähnt, eine nochmalige Blüteperiode der alexandrinischen Schule. Als ruhmvollster Name leuchtet uns derjenige des Ptolemäos entgegen, mit dessen Verdiensten um die Fortentwicklung der Astronomie und Geographie wir uns jetzt zu beschäftigen haben.

Das Weltsystem Aristarchs war mehr ein glücklicher Einfall als eine wissenschaftliche Tat gewesen, denn die heliozentrische Auffassung allein genügte noch nicht, der genaueren Beschreibung der sich am Himmel abspielenden Vorgänge eine sichere Grundlage zu bieten. Dies System konnte daher im Altertum keine allgemeinere Geltung finden, zumal es noch an den

---

1) Dioskorides lebte im 1. Jahrhundert der christlichen Zeitrechnung. Er war Grieche und besuchte im Gefolge römischer Heere viele Länder. Seine Werke wurden griechisch und lateinisch von Sprengel herausgegeben. Leipzig, 1829.

2) Plutarch, vita Demetrii.

3) Galen XIV, 2. edit. Kühn.

mechanischen Begriffen fehlte, welche damit in Einklang gebracht werden mußten. So erhob Ptolemäos den später auch Kopernikus und Galilei gegenüber gemachten, von letzterem aber entkräfteten Einwand, daß eine Drehung der Erde um ihre Achse die Ablenkung eines senkrecht in die Höhe geworfenen Körpers zur Folge haben müßte. Ferner galt der von Aristoteles herrührende Satz, daß die Bewegungen der Himmelskörper, weil die letzteren göttlich und ewig seien, gleichmäßig und im Kreise vor sich gehen müßten, dem Ptolemäos wie dem gesamten Altertum als eine unumstößliche Wahrheit. Zwar hatte es den Anschein, als ob sich die Planeten, sowie die Sonne und der Mond am Fixsternhimmel bald schneller, bald langsamer bewegten; erstere schienen sogar zeitweilig stillzustehen. Schon Plato hatte es deshalb als die wichtigste Aufgabe der Astronomie bezeichnet, diese scheinbar unregelmäßigen Bewegungen auf gleichförmige zurückzuführen, da, wie er sagte, keine Ursache vorhanden sei, daß die himmlischen Körper sich anders als gleichmäßig bewegen sollten. So hatte Hipparch die Erscheinung, daß die Sonne bei jedem Umlauf durch den Tierkreis eine größte und eine geringste Geschwindigkeit annimmt, dadurch erklärt, daß er die Erde aus dem Mittelpunkt der Bahn rückte und die Sonne in gleichförmiger Bewegung einen exzentrischen Kreis beschreiben ließ.

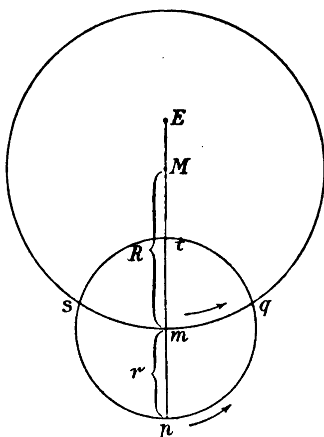


Abb. 6. Zur Erläuterung der Epizyklentheorie.

Die Größe der Exzentrizität ließ sich nun leicht so wählen, daß damit dem tatsächlichen Verlauf der Erscheinungen Rechnung getragen wurde. Diese Theorie der exzentrischen Kreise hatte aber nicht einmal die Bewegung des Mondes, geschweige denn diejenige der Planeten zu erklären vermocht. Ptolemäos griff deshalb einen Gedanken auf, welchen der Mathematiker Apollonios geäußert hatte, und nahm zwei oder mehr Kreisbewegungen zu Hilfe. Zur Erklärung diene obige Abbildung. Es sei E die Erde, um welche mit dem Radius R = Mm ein exzentrischer Kreis gezogen ist. Auf letzterem bewegt sich indes nicht der in Frage kommende Himmelskörper, sondern der Mittelpunkt der Kreisbahn p q t s, in welcher erst der Planet mit gleichförmiger Geschwindigkeit sich umdreht. Diese

Kreisbahn wird der Epizykel und die Theorie des Ptolemäos daher wohl die Epizyklentheorie genannt. Es ist ersichtlich, daß der Planet, von der Erde gesehen, sich in p rascher bewegt als in t, wo seine Bewegung derjenigen des Epizykel entgegengesetzt ist. Auch ist klar, daß trotz der gleichförmig gedachten Bewegung, mit deren Annahme der Forderung Platos Genüge geleistet war, scheinbare Stillstände und Rückgänge eintreten können. Es kam nur darauf an, das Verhältnis von r und ME zu R, sowie die Umlaufszeiten um M und m so zu wählen, daß dem tatsächlichen Verlauf der Erscheinungen durch die hypothetischen Bewegungen Genüge geleistet und erstere aus den angenommenen Verhältnissen berechnet werden konnten. Stimmten dann die Berechnungen mit neuen auf Grund derselben angestellten Beobachtungen nicht überein, so griff man dazu, einen dritten Epizykel einzuführen, dessen Mittelpunkt den Kreis p q t s beschrieb. So lange man die Epizyklentheorie als bloße Hilfshypothese ansah und benutzte, ließ sich nichts dagegen einwenden. Wir bedienen uns noch heute zur Beschreibung von Naturvorgängen mancher Fiktionen, welche dem Fortschritt der Erkenntnis nur dann gefährlich werden, wenn wir uns daran gewöhnen, in ihnen den wahren Grund der Erscheinungen zu erblicken. Erinnert sei nur an die Annahme magnetischer und elektrischer Fluida, an deren wirkliches Vorhandensein kein Physiker mehr glaubt, obgleich sie selbst jetzt noch in der Regel einer elementaren Beschreibung der magnetischen und elektrischen Vorgänge zu Grunde gelegt werden. Mit der zunehmenden Kompliziertheit solcher Hypothesen wird indes deren Anwendung immer mehr erschwert. So trug schon aus dieser Ursache die Epizyklentheorie den Keim des Todes in sich, wenn auch ihre Herrschaft noch lange dauern sollte. Denn selbst Kopernikus war, nachdem er die Sonne, wie er sich ausdrückt, auf ihren königlichen Thron in die Mitte der sie umkreisenden Gestirne gesetzt hatte, sofort gezwungen, sich der Epizykel wieder als Hilfskonstruktion zu bedienen, weil er an der Vorstellung einer kreisförmigen Bewegung der Planeten festhielt.

Das astronomische Wissen seiner Zeit legte Ptolemäos, nachdem es durch ihn eine beträchtliche Vermehrung erfahren, in einem Lehrbuch nieder, welches von den Arabern Almagest[1])

---

1) Aus dem arabischen Artikel und dem ersten Wort des griechischen Titels (*Μεγάλη σύνταξις*) entstanden. Die Übersetzung ins Arabische fand um 827 statt. Seit dem 12. Jahrhundert wurde der Almagest wiederholt ins

genannt wurde und dem gesamten Mittelalter in astronomischer Hinsicht als ein Evangelium galt. Das Bedürfnis nach einer Verbesserung der von Ptolemäos darin mitgeteilten Planetentafeln machte sich jedoch schon im Mittelalter geltend. Um das Jahr 1250 berief daher König Alfons von Kastilien eine Anzahl Gelehrter, welche neue astronomische Tafeln, die sogenannten alfonsinischen, entwarfen, die einen wesentlichen Fortschritt gegenüber denjenigen des Ptolemäos bedeuteten. An der Epizyklentheorie wurde indes trotz ihrer wachsenden Kompliziertheit nicht gerüttelt, was Alfons zu dem Ausspruch verleitet haben soll, die Welt würde besser geworden sein, wenn Gott ihn bei ihrer Erschaffung zu Rate gezogen hätte.

Außer der vorstehend skizzierten, dem damaligen Standpunkte der Astronomie genügenden Epizyklentheorie finden wir im Almagest die schon von den älteren alexandrinischen Astronomen, sowie von Hipparch in Angriff genommene Bestimmung der Fixsternörter fortgesetzt. Das von Ptolemäos entworfene Verzeichnis[1]) umfaßt 1022 Sterne, welche nach ihrer Lage innerhalb der 48 von den Griechen angenommenen Sternbilder, sowie nach Länge und Breite bestimmt waren. Auch die Untersuchung der von Hipparch entdeckten und ihrer Größe nach gleich einem Grad für das Jahrhundert angegebenen Präzession der Nachtgleichen wurde von Ptolemäos wieder aufgenommen. Eine Bestätigung dieser Erscheinung war nämlich sehr wichtig, da Hipparch sich nur auf die wenig genauen Beobachtungen der älteren Alexandriner stützen konnte.

Wie durch Hipparch, so erfuhr nun auch durch Ptolemäos die Geographie eine bedeutende Förderung. Das von letzterem geschaffene Lehrbuch[2]) dieser Wissenschaft genoß gleich dem Almagest bis gegen das Ende des Mittelalters eine unbestrittene Herrschaft. Diese Anerkennung war jedoch eine wohlverdiente. Nicht weniger als 5000 Punkte des damals bekannten Teils der

---

Lateinische übertragen. Die beste Ausgabe des griechischen Textes nebst einer Übersetzung ins Französische veranstaltete Halma (2 Bde., Paris 1813—1816). Eine griechisch-lateinische Ausgabe veranstalteten Wilberg und Grashof, Essen 1838—1845.

1) Es bildet das 7. Buch des Almagest und wurde 1795 übersetzt und erläutert herausgegeben von J. E. Bode: J. E. Bode, Claudius Ptolemäus Beobachtung und Beschreibung der Gestirne. Berlin 1795.

2) Herausgegeben von Nobbe. 3 Bde., Leipzig 1843—1845. Eine deutsche Übersetzung findet sich im 1. Bde. der „alten Geographie" von Georgi (Stuttgart 1838).

Erdoberfläche werden nämlich darin nach ihrer Länge und Breite angegeben, und zwar sind nicht nur Städte, sondern auch Flußmündungen, Berge und andere bemerkenswerte Orte berücksichtigt. Die Ermittelung der Breite geschah mit einer solchen Genauigkeit, daß die von Ptolemäos entworfene Erdkarte in meridionaler Richtung nur geringe Verzerrungen aufwies. Das Verfahren der Längenbestimmung wurde schon erörtert[1]; es lieferte sehr unvollkommene Ergebnisse. Auch gefiel man sich schon im Altertum in der Einführung neuer Nullmeridiane. So rechnete Ptolemäos nicht nach dem von Hipparch durch die Insel Rhodos gezogenen Mittagskreis, sondern verlegte den Anfang der Zählung nach den „glücklichen Inseln" des äußersten Westens. Diese Einrichtung bot nämlich den Vorzug, daß für die in Betracht kommende Region der Erde die Unterscheidung zwischen westlicher und östlicher Länge in Wegfall kam. Bei der kartographischen Darstellung des ihm bekannten Teiles der Erdoberfläche konnte Ptolemäos ihre Krümmung nicht mehr unberücksichtigt lassen. Es galt daher, eine Methode zu finden, welche Teile einer Kugelfläche in der Ebene zu zeichnen ermöglichte. Diese Aufgabe löste Ptolemäos, indem er sich der stereographischen Projektion bediente.

Während so der mathematische Teil der Erdkunde infolge der Fortschritte der Astronomie sehr gefördert wurde, blieb auch die physische Erdkunde nicht zurück. Hier war die Erweiterung des Gesichtskreises durch die römischen Eroberungszüge und der dadurch bedingte kosmopolitische Zug, welcher die gesamte Erde als Wohnsitz des Menschen auffassen lehrte, von großem Einfluß. Insbesondere spricht sich dieser Zug in Strabo aus, von dessen Erdbeschreibung[2] Humboldt sagt, sie übertreffe an Mannigfaltigkeit und Großartigkeit alle geographischen Arbeiten des Altertums. Strabo läßt Inseln und ganze Kontinente in Übereinstimmung mit den Ansichten der heutigen Geologen durch vulkanische Kräfte emporgehoben werden. Er besitzt auch bezüglich der erodierenden Tätigkeit des Wassers, der Ursache von Ebbe und Flut, der Abnahme der Temperatur mit der Erhebung[3] u. s. w.

---

1) Siehe Seite 50 ds. Bds.

2) Strabos Erdbeschreibung, übersetzt von Forbiger, Stuttgart 1856—1862. Eine neuere Ausgabe veranstaltete Meineke. Leipzig 1866.

3) Siehe Humboldt, Examen critique de l'histoire de la géographie I, 152—154. Strabo war griechischer Abstammung, lebte indes meist in Rom. Er wurde 63 v. Chr. geboren und lernte einen großen Teil des römischen Weltreichs durch eigene Anschauung kennen.

richtige Vorstellungen. Ja, er ahnt sogar das Vorhandensein einer zweiten Kontinentalmasse neben der von Europa, Asien und Afrika gebildeten, wenn er sagt: „Es ist wohl möglich, daß in demselben gemäßigten Erdgürtel, welcher durch das atlantische Meer geht, außer der von uns bewohnten Welt noch eine andere oder selbst mehrere liegen“. Columbus ließ sich dagegen von der Vorstellung leiten, daß eine Fahrt nach Westen unmittelbar zu den östlichen Gestaden des asiatischen Festlandes führen müsse. Überhaupt war man gegen den Ausgang des Altertums auf dem Gebiete der physikalischen Geographie zu ziemlich klaren Einsichten gelangt. So verdankt man dem Vitruvius eine im ganzen richtige Theorie der Quellenbildung[1]) nebst einer darauf beruhenden Anweisung zur Auffindung von Quellen, während Seneca[2]) die durch das Wasser auf der Erdoberfläche hervorgerufenen Veränderungen recht gut schildert und die Springfluten darauf zurückführt, daß bei ihnen außer dem Monde auch die Sonne zur Wirkung gelangt.

Mit der zweiten Blüteperiode der alexandrinischen Schule und dem mehr kommentierenden Verhalten, welches die Römer den Naturwissenschaften entgegenbrachten, ist die Entwicklung, welche diese Wissenschaften im Altertum erfuhren, beendet. Es trat nunmehr eine lange Zeit der Ruhe, ja des nahezu völligen Verlustes an erworbenem Besitztum ein, welche sich etwa mit demjenigen Zeitraum deckt, den man in der Weltgeschichte als das Mittelalter bezeichnet. Erst gegen den Ausgang dieser Periode mehren sich — abgesehen von vereinzelten Regungen, auf die wir näher eingehen werden — die Anzeichen, welche auf eine Wiederbelebung der Wissenschaften schließen lassen. Und erst, nachdem man das Studium der alten Literatur auf allen Gebieten aufgenommen, nachdem in Italien und den benachbarten Ländern im 15. und 16. Jahrhundert die Kunst geblüht, nachdem endlich der geographische Gesichtskreis sich über die ganze Erde ausgedehnt, sowie der allgemeine Kulturzustand sich beträchtlich gehoben hatte, sehen wir mit dem Anfang des 17. Jahrhunderts eine neue Blüte der Naturwissenschaften anheben, welche dem geistigen Leben der letzt verflossenen Jahrhunderte den Stempel aufgedrückt hat.

---

1) Vitruvius VIII, 1.

2) Seneca, Naturales quaestiones III, 5 und 28. Seneca, römischer Dichter und Philosoph, lebte von 4 v. Chr. bis 65 n. Chr. Eine Übersetzung seiner Werke veranstalteten Moser und Pauly, Stuttgart 1828–1855. Eine neuere Ausgabe rührt von Haase her (Teubner 1893 u. 1895).

Ja, dieser neuere Aufschwung ist so eng mit der gesamten Kultur unseres Zeitalters verknüpft, daß ein abermaliger Verfall der Wissenschaften zugleich das Ende dieser Kultur bedeuten würde.

Man hat viel nach den Gründen der Erscheinung gesucht, daß die Wissenschaft und die Kultur des Altertums untergegangen sind und das menschliche Geschlecht während eines Zeitraums von tausend Jahren dem Stillstande verfallen war. Ist doch unsere Zeit von dem Gefühl beherrscht, daß sich die Menschheit auf der Bahn, welche sie seit dem Ausgang des Mittelalters eingeschlagen hat, in einem unaufhaltsamen Fortschritt zu weiterer Erkenntnis und höherer Gesittung befindet. Ein wichtiger Grund, der diesem Gefühle Sicherheit verleiht, besteht darin, daß die neuere Wissenschaft eine gewaltige Technik ins Leben rief, welche das Altertum, während dessen das gewerbliche Schaffen wesentlich auf der Stufe eines noch nicht von wissenschaftlichen Grundsätzen durchdrungenen Handwerks verblieb, nicht kannte. Dadurch, daß sich in der Neuzeit der Mensch auf dem Wege des experimentellen Verfahrens zum Herren der Naturkräfte machte, erfuhr die Wissenschaft nämlich eine weit innigere Verschmelzung mit der gesamten Kultur, als dies im Altertum der Fall gewesen.

Dieser Mangel des letzteren war gleichzeitig eine der Bedingungen, daß damals politische und religiöse Umwälzungen von solchem Umfang eintreten konnten, wie sie der neueren Kulturwelt, welcher vielleicht andere Gefahren drohen, aller Voraussicht nach erspart bleiben werden. Es war der durch eine jahrhundertlange Zersetzung vorbereitete, durch den Ansturm der germanischen Stämme herbeigeführte Zerfall des Römerreiches, sowie die Überwindung des Heidentums oder der angesichts der Unhaltbarkeit des letzteren eingetretenen Indifferenz durch die monotheistischen Religionen des Christentums und des Islams. Von diesen wirkte das erstere mehr innerlich, indes nachhaltiger, während der Islam, das Feuer und das Schwert mit dem Bekehrungseifer verbindend unmittelbarer in die Geschicke eines großen Teiles der Welt eingriff. Mit dem zunächst zersetzenden Wirken all dieser Einflüsse beginnt für die allgemeine Geschichte, wie für die Geschichte der Wissenschaften, das Mittelalter, das wir jetzt betrachten wollen.

II. Das Mittelalter.

Der Historiker, welcher es liebt, seinen Einteilungen in die Augen springende Ereignisse zu Grunde zu legen, läßt das Mittelalter mit dem Eintritt der Völkerwanderung oder mit der Errichtung der ersten germanischen Herrschaft auf italischem Boden beginnen. In der Geschichte der Wissenschaften hat man wohl nach ähnlichen epochemachenden Ereignissen gesucht und die Zerstörung der alexandrinischen Bibliothek durch die Araber im Jahre 642 als ein solches betrachtet. Man darf jedoch nicht vergessen, daß auf diesem Gebiete das Entstehen und Vergehen geräuschlos vor sich geht, daß es wohl von den Katastrophen der Weltgeschichte beeinflußt wird, aber niemals den Charakter einer ruhigen Entwicklung verleugnet. Der Geist der zweiten alexandrinischen Blüteperiode war um das Jahr 600 längst erloschen, und die alexandrinische Schule, welche die alten Schätze kaum zu würdigen verstand, fristete nur noch ein Scheinleben, während in Rom, seitdem dort moralische Fäule auf der einen und das der Welt mit ihrem Wissen abgewandte Christentum auf der anderen Seite das Staatsleben immer mehr durchdrangen, also schon eine ganze Reihe von Jahrzehnten vor dem endgültigen Siege des germanischen Elementes, die Naturwissenschaften nicht mehr gepflegt wurden. Rom und Alexandrien waren die Hauptsitze der christlichen Kirche geworden, und diese kehrte sich, da es ihr Ziel war, die antiken Elemente zu überwinden und neue an deren Stelle zu setzen, in mißverstandener Auslegung der heiligen Schrift auch gegen die antike Wissenschaft. „Forschung“, sagt Tertullian[1]), „ist nach dem Evangelium nicht mehr von nöten“, und Eusebius meint von den Naturforschern seiner Zeit: „Nicht aus Unkenntnis der Dinge, die sie bewundern, sondern aus Verachtung ihrer nutzlosen Arbeit denken wir gering von ihrem Gegenstande und wenden unsere Seele der Beschäftigung mit besseren Dingen zu“. Konnten doch diese Kirchenväter der ältesten christlichen Zeit selbst Meinungen heidnischer Philosophen für ihre Ansicht ins Feld führen, wie diejenige des Sokrates, welcher die menschliche Seele mit ihren inneren Zuständen für den einzigen des Nachdenkens würdigen Gegenstand erklärt hatte. Der

---

[1]) Tertullian, de praescr. haeretic. cap. 7.

Fanatismus indes begnügte sich nicht mit dem Streit der Meinungen. Man zog bald nicht nur gegen die Wissenschaft, sondern auch gegen ihre Denkmäler und Schätze zu Felde. So wurde, lange bevor die Zerstörungswut der Araber in Alexandrien tobte, an demselben Orte, unter der Führung eines christlichen Patriarchen, die wertvolle Bibliothek des Serapistempels den Flammen überliefert.

Mit dem gleichen Unverstand wie gegen die weltliche Wissenschaft verfuhren die Bekenner des neuen Glaubens zunächst auch gegen die von den Alten überlieferte Heilkunde. Krankheit wurde mit Gebet und Beschwörung behandelt oder gar als eine Strafe Gottes betrachtet, in die man sich willenlos fügen müsse, während glückliche Heilungen als Teufelswerk galten. In ebensolchem Maße, wenn auch aus anderen Gründen, bildungsfeindlich verhielt sich die zweite Macht, welche von der Welt auf den Trümmern der Antike Besitz ergriffen hatte, das Germanentum. Seine Träger waren Volksstämme, welche erst von dem Augenblicke an, in dem sie mit der alten Kultur in Berührung kamen, in das Licht der Geschichte traten. Ihnen galten nicht nur die zivilisierten Bewohner des südlichen Europas, sondern auch deren Geisteserzeugnisse zunächst als feindliche Mächte. So erzählt Prokop von den Goten, welche nach den langen Wirren der Völkerwanderung in Italien zuerst wieder geordnete Verhältnisse schufen, sie seien der Ansicht gewesen, daß derjenige, der die Rute des Lehrers gefürchtet, keinem Schwert und keinem Speer mehr festen Blickes begegnen könne.

Bedenkt man nun, daß diese beiden Mächte, das Christentum und das Germanentum, das eine geistig, das andere physisch, von dem abendländischen Teil der alten Welt Besitz ergriffen, während bald darauf im Morgenlande der Islam mit ähnlichen Tendenzen ins Leben trat, so läßt es sich begreifen, daß die vom Altertum begründete Wissenschaft in dem Geistesleben des Mittelalters zunächst keinen Platz fand. Man wird vielmehr darüber staunen, daß diese Wissenschaft Kraft genug besaß, um nicht gänzlich unterzugehen, sondern unter der Asche fortzuglimmen, bis sich an ihr gegen den Ausgang des Mittelalters die Fackel der Vernunft von neuem entzündete.

Einer Fortentwicklung der vom Altertum geschaffenen Grundlagen wirkte nicht nur die bildungsfeindliche Tendenz entgegen, welche dem Christentum und dem Germanentum zu Beginn ihres Auftretens innewohnte, sondern es brach auch eine Summe von Geschehnissen über die alte Kulturwelt herein, welche an Furchtbarkeit nicht ihresgleichen hatten und das südliche Europa in einen

Trümmerhaufen verwandelten, so daß dort der Wohlstand, der doch bis zu einem gewissen Grade die Vorbedingung aller Kunst und Wissenschaft ist, gänzlich vernichtet wurde.

Während sich das oströmische Reich einer gewissen Beständigkeit erfreute, wurde der Westen ein Spielball der germanischen Stämme. Auf die Verwüstung durch die Goten folgte der Einfall der Vandalen, welche überall Trümmerhaufen als die Spur ihrer Züge zurückließen. „Sie zerstörten alles", berichtet der Chronist von ihnen [1], „was sie fanden, die Pest kann nicht verheerender sein. Auch wütete eine fürchterliche Hungersnot, so daß die Überlebenden die Körper ihrer gestorbenen Mitbürger verzehrten." Es klingt kaum glaublich, wenn uns die Geschichtsschreiber jener Zeiten erzählen, daß man Festungen durch den Leichengeruch zur Übergabe zwang, indem man die Gefangenen vor den Wällen niedermetzelte. Fast zur selben Zeit, als die Vandalen Rom plünderten, wurde Oberitalien durch die Hunnen verwüstet, deren Strom durch die von Aëtius über sie gewonnene Schlacht bei Châlons nach Süden abgelenkt war. Nach diesen völkermordenden Kriegen nahmen todbringende Seuchen von dem aus tausend Wunden blutenden Europa Besitz. Vielleicht war infolge der vorhergegangenen Ereignisse eine allgemeine Schwächung der europäischen Menschheit eingetreten und dadurch der Pest der Boden bereitet worden. Nach dem von Prokop, dem Geschichtsschreiber dieser Periode, hinterlassenen Bericht wütete die Pest volle fünfzig Jahre im ganzen römischen Reiche dermaßen, daß in Italien stellenweise der Wein und das Getreide auf dem Felde vermoderten, weil es an Arbeitskräften fehlte.

Allmählich erhoben sich indes aus der Verworrenheit und Verwüstung, welche die ersten Jahrhunderte des Mittelalters kennzeichnen und das völlige Erlahmen des wissenschaftlichen Geistes begreiflich erscheinen lassen, gefestigte Verhältnisse. Rom war dadurch, daß es im fünften Jahrhundert in den Besitz des kirchlichen Primats gelangt war, wieder, wenn auch in anderem Sinne wie im Altertum, zum geachteten Mittelpunkt des Abendlandes, die lateinische Sprache zur Weltsprache geworden. Benedikt von Nursia hatte im Anfang des folgenden sechsten Jahrhunderts das Klosterwesen aus den Wüsten Ägyptens nach Westeuropa verpflanzt. Seitdem ferner das Christentum feste kirchliche Formen an-

---

[1]) Nach Whewell, Geschichte der induktiven Wissenschaften. 1840. Bd. I, 333.

genommen hatte, gab es seine der Askese entsprungene bildungsfeindliche Richtung mehr und mehr auf. Ja, die systematische Behandlung der Lehren seiner Kirche führte sogar dazu, daß man auf die Anschauungen der Alten zurückgriff und eine Verschmelzung der alten Philosophie mit den Dogmen der neuen Religion herbeizuführen suchte, in welcher eine neue Geistesrichtung, die Scholastik, ihre Hauptaufgabe erblickte. Zwar das Studium der nicht philosophischen Schriften des Altertums wurde von den kirchlichen Machthabern nur ungern gesehen. So begegnet uns im 13. Jahrhundert ein Verbot[1]), welches den Mönchen das Lesen physikalischer Schriften als sündhaft untersagte. Im ganzen war jedoch die Tätigkeit der Orden auf die Erhaltung der alten Schriftwerke und die Ausbreitung der Bildung gerichtet, so daß die Benediktiner mit Recht den Wahlspruch „Ex scholis omnis nostra salus" führten.

Auch in dem politischen Leben Italiens machte die Brandung, welche dort Jahrhunderte getobt hatte, einer ruhigeren Entwicklung der Dinge Platz. Während der ersten Hälfte des sechsten Jahrhunderts herrschten dort die Ostgoten. Unter ihrem großen König Theoderich, welcher eine Verschmelzung des germanischen mit dem römischen Element herbeizuführen suchte, erlebte das Land sogar einen kurzen Aufschwung. Der wissenschaftliche Sinn wurde von neuem lebendig, die Schulen blühten, und die Gelehrten wurden wieder geachtet[2]). Boëthius machte das Studium der griechischen Schriftsteller wieder zugänglich, indem er sie in das Lateinische übersetzte und erläuterte. Cassiodor, der Geschichtsschreiber der Ostgotenzeit, hat der Nachwelt eine Stelle aus einem Briefe Theoderichs an Boëthius aufbewahrt, welche den König wie den Empfänger in gleicher Weise ehrt. „In deinen Übertragungen", heißt es in diesem Schreiben, „wird die Astronomie des Ptolemäos, sowie die Geometrie des Euklid lateinisch gelesen. Plato, der Erforscher göttlicher Dinge, und Aristoteles, der Logiker, streiten in der Sprache Roms. Auch Archimed, den Mechaniker, hast du lateinisch wiedergegeben. Welche Wissenschaften und Künste auch das fruchtbare Griechenland erzeugte, Rom empfing sie in vaterländischer Sprache durch deine Vermittlung[3])." Insbesondere der Astronomie und der Physik brachten

---

1) Erlassen auf der Kirchenversammlung zu Paris vom Jahre 1209. Siehe auch von Humboldts Kosmos II. S. 31, sowie die bezügliche Anmerkung.

2) Libri, histoire des sciences mathématiques en Italie. Bd. I, 82.

3) Cassiodorus, Varia I, 45.

die Goten geschichtlichen Berichten[1]) zufolge ein reges Interesse entgegen.

Leider sollte dieser hoffnungsvolle Ansatz, den der italische Boden gezeitigt, in der Blüte geknickt werden. Ebenso rasch wie das Ostgotenreich emporgekommen war, wurde es durch die furchtbaren Kriege, welche der oströmische Kaiser gegen dasselbe führte, wieder hinweggefegt. Zehn Jahre später fiel das verwüstete Italien in die Hände der Langobarden. Einen ähnlichen Aufschwung wie zur Zeit der Ostgoten hat es unter der Jahrhunderte dauernden Herrschaft dieses Volkes nicht wieder erlebt. Doch fand in dieser verhältnismäßig ruhigen Zeit eine allmähliche Verschmelzung des germanischen Elementes mit dem römischen wirklich statt, wodurch die Vorbedingung für eine höhere Kultur geschaffen wurde.

Ein neuer Anlaß zur Beschäftigung mit der Wissenschaft des Altertums sollte im Abendlande nicht mehr, wie zur Zeit Theoderichs, auf eigenem Boden ersprießen, sondern von einem orientalischen Volke ausgehen, welches bis dahin keine Rolle gespielt hatte. Diese Erscheinung ist eine der merkwürdigsten, welche uns in der Geschichte der Wissenschaften begegnet, weshalb wir ihr eine etwas eingehendere Betrachtung schenken müssen.

Wie das Christentum die abendländischen Völker durchdrang, so bemächtigte sich der Islam des gesamten Orients. Die Ausbreitung der neuen Lehre erfolgte durch Feuer und Schwert und ging Hand in Hand mit der Errichtung eines Weltreichs durch die Araber. Auch die letzteren traten wie die ersten Bekenner des Christentums den vorhandenen Bildungselementen zunächst feindlich gegenüber. Von fanatischem Eifer verblendet, soll Omar, der arabische Feldherr, welcher Alexandrien eroberte, den Befehl zur Einäscherung der alexandrinischen Bibliothek mit den Worten gegeben haben: „Wenn diese Bücher das enthalten, was im Koran steht, so sind sie unnütz, wenn sie etwas anderes enthalten, so sind sie schädlich. Sie sind deshalb in beiden Fällen zu verbrennen.“

Nachdem die Araber in der kurzen Zeit von 632—700 Syrien, Palästina, Ägypten, Persien, Nordafrika und Spanien unterjocht hatten, nahmen sie die Bildungselemente, welche sie in diesen Ländern vorfanden, in sich auf, um sie später den inzwischen in immer tiefere Unwissenheit versunkenen abendländischen Völkern

---

[1]) Nach Jornandes.

zu übermitteln. Den letzteren blieb es jedoch vorbehalten, auf diesen Grundlagen erfolgreich weiter zu bauen, was die Araber nur in bescheidenem Maße vermocht hatten. Es ist somit das unbestrittene Verdienst dieses Volkes, die griechische Wissenschaft erhalten und durch das Dunkel des Mittelalters in die neuere Zeit hinübergerettet zu haben.

Trotz aller Verfolgungen, denen die griechische Wissenschaft ausgesetzt gewesen, fanden sich nämlich im Orient doch noch zahlreiche wertvolle Überreste derselben. Vor allem war es die zur Zeit der Eroberungskriege der Araber in Persien verbreitete christliche Sekte der Nestorianer, welche sich um die Erhaltung dieser Überreste ein großes Verdienst erworben hatte. Als in Bagdad unter Almansur das Kalifat allen Glanz des Morgenlandes um sich verbreitete, wurden die Nestorianer, sowie zahlreiche griechische Gelehrte an den Hof gezogen und damit betraut, die in ihrem Besitz befindlichen Wissensschätze ins Arabische zu übersetzen. Die mohammedanischen Machthaber scheint dabei zuerst mehr eine Art von Sammeleifer als ein Verständnis für die Bedeutung des Errungenen geleitet zu haben. Es wird berichtet, daß Harun al Raschid, der zur Zeit Karls des Großen lebende Kalif aus dem prachtliebenden Hause der Omejaden, sich von den griechischen Kaisern alles ausgebeten habe, was ihr Land an philosophischen Werken besaß. Auch das Interesse für mechanische Dinge muß schon damals bei den Arabern nicht gering gewesen sein. So übersandte derselbe Kalif dem Kaiser unter den zur Krönungsfeier bestimmten Geschenken eine Wasseruhr, die ein Zeigerwerk besaß und die Stunden dadurch ankündete, daß eine Metallkugel in ein aus Erz gefertigtes Becken fiel[1]).

Nicht minder groß war die Vorliebe, welche der Sohn und Nachfolger Haruns, der Kalif Abdallah al Mamun, für die Wissenschaft bekundete. Er gründete in zahlreichen Städten seines Reiches Schulen und Bibliotheken. Nach einem erfolgreichen Kriege gegen den byzantinischen Kaiser legte er letzterem die Bedingung auf, ihm von sämtlichen in den Bibliotheken des griechischen Reiches befindlichen Werken je ein Exemplar zu überlassen, damit diese Werke ins Arabische übersetzt würden. Darunter befand sich auch das oben erwähnte astronomische Hauptwerk des Ptolemäos, welches in der Folge Almagest genannt wurde. Die Araber bewiesen indes schon damals, daß sie sich nicht bloß

1) Heller, Geschichte der Physik, 1882, I, 160.

rezeptiv verhalten wollten. So wurde z. B. die Messung eines Breitengrades zur Bestimmung des Erdumfanges unter Al Mamun wieder vorgenommen, und zwar sehr wahrscheinlich, ohne daß man hierbei auf die von den Griechen geschaffene Grundlage zurückging[1]). Ein wesentlicher Fortschritt dem Eratosthenes gegenüber liegt bei diesem arabischen Unternehmen darin, daß die zu grunde gelegte Strecke nicht in Tagereisen ausgedrückt, sondern in der Richtung des Meridians genau gemessen wurde. Man fand die Länge des Grades gleich 56 und bei einer zweiten Messung gleich $56^2/_3$ Meilen. Leider ist man nicht mehr in der Lage, den genauen Wert der arabischen Meile anzugeben[2]). Derselbe arabische Astronom, welcher diese in der Nähe des roten Meeres stattfindende Messung leitete[3]), hat auch die Schiefe der Ekliptik mit großer Genauigkeit bestimmt. Der gefundene Wert belief sich auf 23° $35'$. Heute beträgt er 23° $27'$. Die Änderung beträgt im Jahrhundert etwa $50''$, und zwar nimmt die Schiefe gegenwärtig um diesen Betrag ab.

Die Astronomie, welche immer mehr in Astrologie ausartete, die Mathematik und die auf geometrischer Konstruktion beruhende Optik, vor allem aber die Chemie in ihrem ersten, von mystischen Vorstellungen durchwebten Gewande waren die Gebiete, denen sich die Araber mit Vorliebe zuwandten. Auf diesen haben sie, zumal was die ihrem Ursprunge nach vorwiegend arabische Wissenschaft der Chemie betrifft, anerkennenswerte Leistungen aufzuweisen.

Eine Anregung zur Beschäftigung mit der Mathematik empfingen die Araber nicht nur durch die griechischen Schriften des Altertums, welche von einem vorzugsweise für die Geometrie veranlagten Volke herrührten, sondern in nicht geringerem Maße von den Indern, die sich durch ihre rechnerische Begabung auszeichneten. Von den letzteren erhielten sie vor allem das auf dem Stellenwert beruhende Ziffernsystem, welches wir noch heute als das arabische bezeichnen, weil die Araber es den abendländischen Völkern übermittelt haben. Auch die Algebra ist indischen Ursprungs, erfuhr indes durch die Araber eine wesentliche Fortbildung. Gegen den Ausgang des Mittelalters gelangte das westliche Europa gleichfalls durch Vermittelung dieses Volkes in

1) S. Günther, Studien zur Geschichte der mathematischen und physikalischen Geographie, 1877, S. 59.

2) Peschel, Geschichte der Erdkunde, 1877, S. 122.

3) Al Maimon.

den Besitz der aus Ostasien stammenden Bussole und sehr wahrscheinlich auch des Schießpulvers, also einer ganzen Reihe der wichtigsten Kulturmittel.

Nach der Eroberung Spaniens hatten die Araber das Kalifat zu Cordova errichtet, das für den westlichen Teil ihres Weltreichs eine ähnliche Bedeutung erhielt, wie sie Bagdad für den Osten besaß. In Spanien war es auch, wo die Berührung der abendländischen Christenheit mit dem geistigen Gehalt des Islams vorzugsweise stattfand. Von hier ging die Wiederbelebung der wissenschaftlichen Bestrebungen für die christlichen Länder aus, welche im 9. und 10. Jahrhundert den Aristoteles in arabischer Übersetzung kennen lernten. In Cordova entstand um das Jahr 900 eine hohe Schule mit einer Bibliothek von mehreren hunderttausend Bänden. Ähnliches wurde in anderen unter der maurischen Herrschaft durch Handel und Wohlstand emporblühenden Plätzen, wie Granada, Toledo und Salamanka, geschaffen. Aus allen Teilen Westeuropas zogen Wißbegierige an diese Stätten, denen man daheim nichts an die Seite zu stellen hatte. Bekannt ist, daß Gerbert, der spätere Papst Sylvester II., auf einer arabischen Hochschule Philosophie und Mathematik studierte und daß auch, nachdem die Araber in Süditalien Fuß gefaßt, der hochsinnige Staufenkaiser Friedrich II. arabische Weisheit wohl zu schätzen wußte. Auf seine Anregung wurde der Almagest nach einer arabischen Handschrift ins Lateinische übersetzt.

Wie schon erwähnt, wurde neben Mathematik und Astronomie besonders die das geometrische Interesse fördernde Optik von den Arabern gepflegt. Das auf diesem Gebiete teils gesammelte, teils erworbene Wissen ist uns am vollständigsten in dem Werke des um 1100 in Spanien lebenden Physikers Alhazen übermittelt worden[1]. Dieses Werk stand während des gesamten Mittelalters in hohem Ansehen und verdient es, daß wir uns mit seinem Inhalt etwas näher befassen, um uns einen Begriff von den damaligen Kenntnissen zu verschaffen.

Zunächst handelt Alhazen von dem Organ des Sehens. Zwar hatten sich schon die Alexandriner mit dem Bau des Auges befaßt. Die Beschreibung, welche uns Alhazen liefert, ist jedoch die erste, welche den Namen einer anatomischen verdient. Die noch heute gebräuchlichen Bezeichnungen für die Hauptteile des

---

1) Opticae thesaurus Alhazeni Arabis libri VII nunc primum editi a Federico Risnero. Basileae 1572.

Auges, wie Humor vitreus (Glaskörper), Cornea (Hornhaut), Retina (Netzhaut) u. s. w. stammen aus Alhazens Optik. Das Verhältnis von Linse und Netzhaut in seiner Bedeutung für das Zustandekommen des Bildes zu erkennen, blieb jedoch späteren Untersuchungen vorbehalten. Auch in der Behandlung der Reflexion und der Brechung, denen das Werk der Hauptsache nach gewidmet ist, zeigt sich ein beträchtlicher Fortschritt den Griechen gegenüber. Nicht nur ebene, sondern sphärische, cylindrische und konische Konkav- und Konvexspiegel werden zur Erzeugung von Bildern herangezogen und Lage und Größe der letzteren bestimmt. Auch das Verhalten des Rotationsparaboloids, die vom Brennpunkt ausgehenden Strahlen parallel zu reflektieren, wird erörtert.

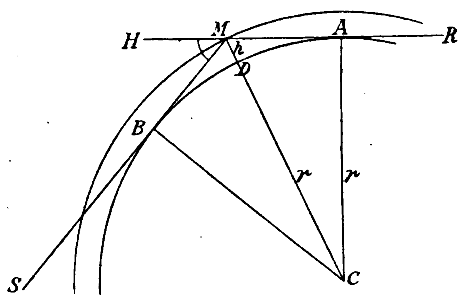


Abb. 7. Alhazen bestimmt die Höhe der Atmosphäre.

Hatte Ptolemäos gefunden, daß jedem Einfallswinkel ein bestimmter Brechungswinkel entspricht, so fügte Alhazen die Erkenntnis hinzu, daß der einfallende und der gebrochene Strahl mit dem Einfallslot in einer Ebene liegen. Die ältere Annahme, daß das Verhältnis zwischen dem Einfalls- und dem Brechungswinkel ein konstantes sei, erkennt Alhazen nur für kleine Werte als richtig an. Aus der Spiegelung und der Brechung erklärt er dann auch einige wichtige astronomische Erscheinungen. So wird die Dämmerung auf die Reflexion des Lichtes zurückgeführt. Die Tatsache, daß die Dämmerung nur so lange währt, bis die Sonne sich 19° unter dem Horizont befindet, gibt Alhazen ein Mittel in die Hand, die Höhe unserer Atmosphäre zu bestimmen. Es sei M, so führt er aus, die äußerste Schicht der Luft, welche den Strahl SM noch zu reflektieren vermag, und A der Ort des Beobachters. Der Winkel HMS, den der Sonnenstrahl SM mit dem Horizont bildet, beträgt dann 19°. Nach dem Reflexionsgesetz ist nun $\sphericalangle BMC = \sphericalangle AMC$. Da ferner die Summe der drei Winkel bei M gleich 180° ist, so ergibt sich für den Winkel AMC der Wert $\frac{180-19}{2} = 80^0\ 30'$. Da auch die Seite $AC = r$ bekannt ist, so ist das rechtwinklige Dreieck ACM bestimmt. Die gesuchte Höhe

ergibt sich, wenn man aus den gegebenen Stücken die Hypotenuse MC berechnet (MC = r : sin 80° 30′) und davon r abzieht. MD = h ist also = (r : sin 80° 30′) — r. Diese Größe beträgt nach der Berechnung Alhazens 52000 Schritt (5—6 Meilen), während wir dafür 10 Meilen annehmen.

Gegen diese Berechnung läßt sich ein Einwand erheben, den Alhazen selbst schon hätte machen können. Es war ihm nämlich wohl bekannt, daß ein Lichtstrahl, welcher schräg in unsere Atmosphäre einfällt, keine gerade Linie beschreibt, sondern, weil er auf immer dichtere, das Licht in wachsendem Maße brechende Schichten trifft, einen krummen Weg nimmt. Diese mit dem Namen der astronomischen Refraktion bezeichnete Erscheinung war schon dem Ptolemäos bekannt. Man führte sie jedoch nicht auf die zunehmende Dichte der Atmosphäre, sondern auf die in ihr enthaltenen Dünste zurück. Das Funkeln der Sterne rührt nach Alhazen von raschen Änderungen in der Dichtigkeit der Atmosphäre her, während die Erscheinung, daß Mond und Sonne in der Nähe des Horizontes abgeplattet erscheinen, aus der astronomischen Refraktion erklärt wird.

Bei den arabischen Naturforschern begegnet man ferner der Anwendung des Pendels als Zeitmessers, sowie genaueren Bestimmungen des spezifischen Gewichtes. Eine aus dem 12. Jahrhundert herrührende Tabelle enthält folgende Werte:

Gold	19,05	(statt 19,26 nach neuerer Bestimmung),
Quecksilber	13,56	(„ 13,59),
Kupfer	8,66	(„ 8,85),
Blei	11,32	(„ 11,35),
Seewasser	1,041	(„ 1,027),
Blut	1,033	(„ 1,045).

Die Bestimmungen erfolgten vermittelst der Wage oder des Pyknometers. Letzteres ist ein Gefäß, welches die von einer gewogenen Menge des zu untersuchenden Körpers verdrängte Wassermasse bequem zu finden gestattet. Für Flüssigkeiten bediente man sich des Aräometers, das schon die Alexandriner zu diesem Zwecke benutzt hatten [1].

Diese Leistungen verdienen umsomehr Bewunderung, wenn man bedenkt, daß zur selben Zeit das christliche Abendland von

1) Näheres siehe Gerland und Traumüller, Geschichte der physikalischen Experimentierkunst. Leipzig, Wilhelm Engelmann. 1899. Seite 71 u. f.

scholastischen Zänkereien erfüllt war. So befindet sich in dem wissenschaftlichen Hauptwerk[1]) des Thomas von Aquino unter mehreren hundert Kapiteln nur ein einziges, das „von den natürlichen Wirkungen der Dinge“ handelt, während sich eine ganze Anzahl mit der Nahrung, der Verdauung und dem Schlaf der Engel beschäftigen.

Die größten Verdienste haben sich die Araber um die Begründung der Chemie erworben. Zwar wurde man schon in der ältesten Zeit durch hüttenmännisches und gewerbliches Schaffen mit einer Reihe stofflicher Veränderungen vertraut. Auch empfingen zweifelsohne die Araber die erste Anregung zu ihrer Beschäftigung mit der Chemie aus Ägypten, wo man die gemachten Erfahrungen gesammelt hatte. Bei den späteren Alexandrinern und den Arabern indes finden wir diese Beschäftigung losgelöst von den alltäglichen Nützlichkeitszwecken und in den Dienst eines Strebens gestellt, das einen Ansporn verlieh, wie es kein rein wissenschaftliches Interesse in höherem Grade vermocht hätte.

Aus der Beobachtung, daß man durch Zusammenschmelzen unedler Metalle dem Golde und dem Silber ähnliche Legierungen erhält, daß aus Rohblei durch geeignete Behandlung wirkliches Silber und aus Amalgam Gold abgeschieden werden kann, hatte sich nämlich die Ansicht von der Möglichkeit, unedle Metalle in edle zu verwandeln, gebildet. Bei dem gänzlichen Mangel einer Einsicht in den chemischen Prozeß hielt man die genannten Vorgänge für wirkliche Umwandlungen der Stoffe. Da man nun durch Verbesserung der hüttenmännischen Betriebe eine größere Ausbeute erzielte, so lag der Gedanke nahe, ob nicht durch geeignete Behandlung das gesamte Rohmaterial in edles Metall verwandelt werden könne. Die Periode, in welcher die Erforschung stofflicher Veränderungen von diesem Bestreben geleitet wurde, hat man als das Zeitalter der Alchemie bezeichnet.

Die ersten alchemistischen Regungen finden sich schon bei den Alexandrinern. Aus dem dritten nachchristlichen Jahrhundert sind nämlich Schriften alexandrinischen Ursprungs auf uns gelangt, welche sich mit dem Problem der Metallveredelung beschäftigen[2]). Von den Gelehrten des unterjochten Ägyptens ging zweifelsohne

[1]) Summa theologiae.

[2]) Der Urtext dieser Schriften nebst französischer Übersetzung wurde von Berthelot in den Jahren 1887 und 1888 unter dem Titel „Collection des Anciens Alchimistes Grecs“ veröffentlicht.

für die Araber der Antrieb aus, sich mit dem gleichen Problem zu befassen. Schon das Wort Chemie deutet sehr wahrscheinlich darauf hin; dasselbe ist nämlich gleichlautend mit einer alten Benennung Ägyptens. Wie Plutarch berichtet, haben die Bewohner dieses Land der schwarzen Farbe seines Erdreichs wegen chêmi genannt. Auch die Bezeichnung „schwarze Kunst“ würde dadurch vielleicht ihre Erklärung finden.

Der bedeutendste Schriftsteller des alchemistischen Zeitalters ist Geber. Er lehrte während der ersten Hälfte des achten Jahrhunderts an der Hochschule zu Sevilla. Von ihm rühren eine Anzahl Schriften her, welche allerdings nur in lateinischer Übersetzung auf uns gekommen sind[1]. Eine kurze Darstellung ihres Inhalts wird uns am besten über das Ziel und den Umfang der damaligen Chemie belehren, doch läßt sich in Anbetracht der großen Unvollständigkeit, in welcher die Literatur des Altertums und des Mittelalters erhalten geblieben, heute nicht mehr sicher feststellen, wieviel Geber selbständig gefunden und was er von seinen Vorgängern entlehnt hat.

Die wichtigste Tatsache, welche uns in den Werken Gebers begegnet, ist die, daß er mit der Salpetersäure, der Schwefelsäure und dem Königswasser bekannt war, während sich das Altertum nur im Besitz der Essigsäure befand. Die erstgenannten Säuren erhielt man durch Erhitzen von Salzen und Salzgemischen, eine Darstellungsart, welche für die Schwefelsäure bis zur Erfindung des englischen Verfahrens die einzige blieb. So erhielt Geber diese Säure durch Glühen von Alaun in Destilliergefäßen und Salpetersäure durch Erhitzen eines Gemenges von Salpeter und Vitriol. Ein Zusatz von Salmiak zur Salpetersäure lieferte ihm das Königswasser, dessen Eigenschaft, das Gold, den König der Metalle, aufzulösen, ihm nicht entging. Die Herstellung einer solchen Lösung hatte man lange angestrebt, weil man sich von ihr die Heilung aller Krankheiten versprach.

Auf Grund der Kenntnis der Mineralsäuren konnte sich nun eine Chemie entwickeln, welche auf nassem Wege verfuhr, während man bis dahin vorzugsweise eine Chemie der Schmelzprozesse betrieben hatte. So sehen wir Geber durch Auflösen von Metallen in Salpetersäure zum Höllenstein und zu zahlreichen anderen

---

1) Deutsche Ausgaben erschienen 1710 in Erfurt und 1751 in Wien. Eine Aufzählung der Schriften Gebers siehe bei Wüstenfeld, Geschichte der arabischen Ärzte und Naturforscher. 1840. S. 12 u. 13.

Verbindungen, insbesondere Salzen gelangen, welche den Alten, wie z. B. die Salze des Quecksilbers, nicht bekannt waren. Es bedarf kaum der Erwähnung, daß die erhaltenen Verbindungen zunächst sehr unrein waren; doch kannte man auch schon die wichtigsten Verrichtungen, welche auf eine Reindarstellung der gewonnenen Präparate abzielten. Es waren dies außer der Destillation, die man schon bei den Alexandrinern erwähnt findet, vor allem das Umkristallisieren, die Sublimation und das Filtrieren. Auch Wasserbäder und Öfen zu chemischem Gebrauch finden sich in Gebers Werken beschrieben.

Mit dem chemischen Verhalten der Metalle war dieser Mann weit besser als das Altertum bekannt; er stellte aus ihnen eine Reihe von Sauerstoffverbindungen her. So finden wir bei ihm die erste Nachricht über die Gewinnung des Quecksilberoxyds[1]), einer Substanz, welche in der späteren Entwicklung der Chemie die größte Rolle spielen sollte. Nicht nur mit Sauerstoff, sondern auch mit Schwefel wußte Geber die Metalle zu verbinden. Die entstandenen Sulfide fand er schwerer als das zur Verwendung kommende Metall, während er unrichtigerweise annahm, daß mit der Oxydation eine Verminderung des Stoffes verbunden sei.

Auch in der Kenntnis der Verbindungen der Leichtmetalle war man in dieser Periode einen Schritt weiter gekommen. Pottasche wurde durch Verbrennen von Weinstein, Soda nach dem bis zur Einführung des Leblancprozesses allein üblichen Verfahren (Einäschern von Seepflanzen) dargestellt. Durch einen Zusatz von Kalk machte Geber die Lösungen dieser beiden Salze ätzend und erhielt so Kalilauge und Natronlauge[2]). Letztere dienten ihm zur Auflösung von Schwefel, welcher aus der alkalischen Lösung durch Säuren in feinster Verteilung als Schwefelmilch wieder ausgefällt wurde[3]).

Diese beachtenswerten Einzelkenntnisse suchte Geber nun unter den Gesichtspunkt einer Theorie zu bringen, welche bei dem damals noch herrschenden Mangel an Einsicht in den chemischen Prozeß die Wahrheit allerdings gänzlich verfehlen mußte. Die Metalle waren seiner Ansicht nach Gemenge von Arsen, Quecksilber und

---

1) Kopp, Geschichte der Chemie I, 53.

2) $K_2\ CO_3 + Ca(OH)_2 = 2\ KOH + CaCO_3$
$Na_2CO_3 + Ca(OH)_2 = 2\ NaOH + CaCO_3$.

3) $6\ KOH + 12\ S = K_2S_2O_3 + 2\ K_2S_5 + 3\ H_2O$
$K_2S_2O_3 + 2\ HCl = 2\ KCl + SO_2 + S$
$K_2S_5 \quad + 2\ HCl = 2\ KCl + H_2S + 4\ S$.

Schwefel. Durch Abänderung des Verhältnisses dieser vermeintlichen Bestandteile könnten sie folglich ineinander übergeführt werden. So nahm bei ihm das Kupfer eine Stelle zwischen Gold und Silber ein. Durch Erhitzen mit Galmei wurde es dem ersteren, durch Zusammenschmelzen mit Arsenik dem letzteren angenähert. Die auf solche Weise herbeigeführte Änderung der roten Farbe in gelb und weiß hielt Geber für den Beginn des Überganges in ein anderes Metall. Bei seinen chemischen Versuchen verfolgte er das Ziel, einen Stoff herzustellen, mit dem diese Metallverwandlung völlig gelingen sollte. Diesen hypothetischen Stoff nannte er den Stein der Weisen. Ob er überzeugt ist, letzteren gefunden zu haben, erfahren wir nicht; auch spricht nichts dafür, daß er ihm die wunderbaren Wirkungen beilegte, von denen wir bei späteren Alchemisten des christlichen Abendlandes hören werden. Da diese, wie auch die arabischen Nachfolger Gebers, im wesentlichen den gleichen Ansichten huldigten und zunächst auch keine in die Augen fallende Vermehrung der Einzelkenntnisse stattfand, kann von einem nennenswerten Fortschritt der Chemie im weiteren Verlaufe dieser Periode nicht die Rede sein. Vielmehr fand zwischen den beiden Pseudowissenschaften des Mittelalters, der Alchemie und der Astrologie, eine immer größere Verschmelzung unter gleichzeitiger Durchtränkung mit mystischen Elementen statt, während die arabische Kultur, nachdem sie ihren anregenden Einfluß auf das christliche Abendland ausgeübt hatte, einem raschen Verfall entgegenging. Das mächtige Kalifat von Bagdad löste sich in eine Anzahl kleinerer Reiche auf, welche durch den von Asien im 13. Jahrhundert daherbrausenden mongolischen Völkerstrom vernichtet wurden. Ähnlich erging es der maurischen Herrschaft in Spanien. Die kleinen Reiche mohammedanischen Bekenntnisses, welche sich dort im Verlauf des 11. Jahrhunderts gebildet hatten, wurden durch die von Norden her vordringende christliche Bevölkerung unterjocht und dadurch über die blühende Halbinsel zunächst Verödung gebracht. Die fanatische Zerstörungswut, welche die ersten Christen wie auch die Araber im Beginn ihrer Laufbahn an den Schätzen der Wissenschaft ausgelassen hatten, schien wieder aufgelebt zu sein. Als nach der Vereinigung von Kastilien und Aragon im Jahre 1236 Cordova fiel, ging z. B. die dortige große Bibliothek mit ihren hunderttausenden von Bänden auf Befehl des Kardinals Ximenes in Flammen auf, ein unersetzlicher Verlust, da sie zahlreiche Übersetzungen der alten Schriftsteller enthielt.

Indessen schon begann, von den Arabern angefacht, der wissenschaftliche Geist sich in den nördlichen Ländern Europas auszubreiten. Die Elemente der Kultur, welche die Römer nach Frankreich, England und Deutschland gebracht hatten, waren durch die Ereignisse der Völkerwanderung wieder hinweggefegt worden. Als nach der Beendigung der letzteren in Deutschland und im nördlichen Gallien das Reich der Franken entstand und die Ausbreitung des Christentums durch diese politische Schöpfung sehr gefördert wurde, befanden sich die genannten Länder daher wieder im Zustande der tiefsten Unkultur. Der Gefahr einer Zersplitterung entging das neue Reich dadurch, daß es in die Hände der Pippiniden gelangte. Diese waren es auch, welche der Überschwemmung Westeuropas durch die Araber einen Damm entgegensetzten und eine christlich-germanische Kultur in ihrem sich immer gewaltiger ausdehnenden Reiche begründeten.

Durch das tatkräftige persönliche Interesse, welches Karl der Große trotz seiner zahlreichen Kriege für die Wissenschaft bekundete, kam die Entwicklung des Abendlandes in etwas schnelleren Fluß. Gelehrte Ausländer wurden an den Hof gezogen und eine Art Akademie gebildet. Die Schulen sollten nach der Absicht Karls nicht länger ausschließlich der Erziehung der Geistlichen dienen, sondern Bildung in immer weitere Kreise des Volkes tragen. Die Klosterschulen zu Fulda, zu St. Gallen und Corvey wurden zu wissenschaftlichen Pflanzstätten ihrer Zeit und ihres Landes. Der gelehrte Leiter der ersteren, Rhabanus Maurus, welcher den Ehrennamen primus Germaniae praeceptor erhielt, hinterließ ein Sammelwerk[1]), welches unter anderem einen Abriß der damaligen Naturkunde bietet. Man erkennt, daß dieses Wissen weit geringer war als dasjenige der letzten Jahrhunderte des Altertums. Der Abriß des Maurus enthält nämlich nichts Eigenes, sondern fußt auf den Schriften der Alten, deren Inhalt in verdorbener Darstellung wiedergegeben wird.

Als bald nach Karls des Großen Tode das Frankenreich zerfiel und Kriege ohne Ende zwischen den neu entstandenen Reichen, sowie Fehden im Innern und zur Abwehr von außen herandrängender Feinde herrschten, wurden die geringen wissenschaftlichen Ansätze, welche die Regierung des großen Kaisers gezeitigt hatte, zum größten Teile wieder vernichtet. Darauf folgte eine Zeit, in welcher das Interesse des Abendlandes ausschließlich in der Bekämpfung des Orients

1) De Universo libri XXII.

aufging. Dann erst wurde der Tiefpunkt des Mittelalters überwunden. Zwar hatten die Kreuzzüge dem westlichen Europa manche Wunde geschlagen, sie hatten aber auch den Gesichtskreis in ähnlicher Weise erweitert, wie es zur Zeit des Griechentums die Züge Alexanders vermocht hatten. Waren ferner in den vorhergehenden Jahrhunderten geistige Anregungen besonders von den mohammedanischen Bewohnern Spaniens ausgegangen, so kam man jetzt mit diesem während des Stillstandes der germanischen Länder seine Blütezeit erlebenden Volke auch vom südlichen Italien her in Berührung. Dieser Einfluß erstreckte sich nicht nur auf den Norden der Halbinsel, sondern wurde infolge der Römerzüge auch auf den nördlich der Alpen gelegenen Teil Europas ausgedehnt. Aber auch von Byzanz und dem Orient selbst gelangten mannigfache Anregungen nach Mittel- und Westeuropa. Der Handel hob sich durch die engere Fühlung, in welche Italien, Deutschland und Frankreich sowohl unter sich wie mit dem Morgenlande traten. Die Seefahrer waren durch Vermittlung der Araber in den Besitz des Kompasses gelangt. Gleichzeitig mit dem Handel blühte das Städtewesen empor. Der sich mehrende Wohlstand weckte die Teilnahme an geistigen Dingen. Hochschulen nach dem Muster der arabischen gelehrten Schulen entstanden zunächst in Neapel, Salerno und Bologna, darauf in Paris, Oxford und Cambridge. Im 14. Jahrhundert folgte Deutschland mit der Gründung der Universitäten zu Prag, Wien und Heidelberg. Zwar waren diese Orte anfangs vorwiegend Stätten scholastischen Denkens und Gezänks; die Gelehrten waren jedoch vom klösterlichen Zwange befreit worden, ein Umstand, der für die Folge von großer Bedeutung werden sollte.

Im 13. Jahrhundert gelangte der Geist der wiederauflebenden Wissenschaften besonders in zwei Männern zum Ausdruck, deren Lebensumstände und Verdienste uns zunächst beschäftigen sollen. Es waren dies Albertus Magnus in Deutschland und sein Zeitgenosse Roger Bacon in England. Magnus, dessen eigentlicher Name Albert von Bollstatt lautet, wurde gegen den Ausgang des 12. Jahrhunderts in einem schwäbischen Städtchen geboren[1]). Er empfing seine Vorbildung in Padua. Später lehrte er an der Dominikanerschule zu Cöln, zeitweilig auch an der Universität zu Paris, wo der Orden einige Lehrstühle besetzen durfte. In Paris fand er solchen Zulauf, daß kein Gebäude die Schar seiner Zuhörer zu fassen vermochte. An Wissensdrang fehlte es im

---

1) Um 1190 in Lauingen.

13. Jahrhundert also nicht, wohl aber an einem würdigen Gegenstand zur Befriedigung dieses Dranges. Die Schriften des Aristoteles und des Theophrast waren bisher nur durch Übersetzungen bekannt geworden. Ihr Inhalt war es, der das damalige Wissen ausmachte. Jede selbständige Regung wurde durch einen Autoritätsglauben niedergehalten, wie ihn kein Zeitalter in solchem Grade wieder besessen hat. Verfolgung und Tod trafen denjenigen, der sich gegen diesen Autoritätsglauben, der alles mit Blindheit geschlagen zu haben schien, auflehnte. Man darf daher auch von Magnus nicht allzu viel erwarten, wenn er auch zu den hervorragendsten Männern gehört, die uns in der Geschichte des Mittelalters begegnen. Ihm ist es vor allem zu verdanken, daß man auf dem Gebiete der Naturwissenschaften wieder an die Schriften des Altertums anknüpfte. Und zwar begann man auf den griechischen Texten zu fußen, welche zum Teil schon um diese Zeit von Konstantinopel aus in das Abendland gelangten, während man vorher die arabischen Bearbeitungen in das Lateinische übertragen hatte, eine zwiefache Hinüberleitung, durch welche der Inhalt vielfach entstellt und unrichtig übermittelt worden war. Was man vor Magnus an Kenntnissen über die Tier- und Pflanzenwelt besaß, verdiente kaum noch den Namen einer Zoologie und Botanik. Einiges Interesse brachte man zwar den in der Bibel erwähnten Geschöpfen entgegen, welche in dem „Physiologus“, einem sehr verbreiteten, in vielen Bearbeitungen vorhandenen Buche, behandelt wurden[1]). Es enthielt indessen die unglaublichsten Fabeln, wie die später oft wiederkehrende Erzählung, daß der auf dem Wasser ruhende Walfisch von den Schiffern für eine Insel gehalten wird, an welcher sie ihr Schiff befestigen. Auf der vermeintlichen Insel wird dann ein Feuer angezündet. Das Tier fühlt die Glut, taucht unter und zieht Schiff und Menschen in die Tiefe.

Seit Magnus ist man auch bestrebt, die von den Alten beschriebenen Naturkörper, insbesondere die Pflanzen, wieder aufzufinden. Dies Bemühen war jedoch wenig lohnend, da einmal die vorhandenen Beschreibungen meist nicht hinlänglich genau

---

1) Der älteste Physiologus entstand im 2. Jahrhundert n. Chr. in Alexandrien. Auf dieser griechischen beruhen eine Anzahl orientalischer Bearbeitungen der biblischen Zoologie. Magnus schöpfte aus einem lateinischen Physiologus, der auch ins Althochdeutsche und andere nordische Sprachen übersetzt wurde. Siehe auch Peters, der griechische Physiologus und seine orientalischen Übersetzungen, Berlin 1898. Das genannte Werk enthält auch eine Geschichte der merkwürdigen Schrift.

waren, um danach die Arten feststellen zu können, und da man ferner, ohne Berücksichtigung der geographischen Verbreitung, die Pflanzen Griechenlands und Kleinasiens in Mitteleuropa suchte. Immerhin war es ein Fortschritt, daß man sich mit den Naturkörpern wieder unmittelbar zu beschäftigen begann. Die Wiederbelebung der beschreibenden Naturwissenschaften war in erster Linie die Folge eines solchen kommentatorischen Bemühens. Dieses führte auch zur Anlegung von botanischen Gärten und zur Herausgabe von Kräuterbüchern, den ersten botanischen Dingen, die uns an der Schwelle der neueren Zeit begegnen[1]).

Albertus Magnus war auch der erste Deutsche, der auf dem Gebiete der Chemie etwas leistete, ohne sich jedoch über Geber zu erheben. Daß unedle Metalle sich in edle verwandeln ließen, war für Magnus eine ausgemachte Sache.

Ein fast noch höheres Interesse als dieser „Doctor universalis“, dessen Schriften nicht nur die Naturbeschreibung, die Chemie und die Physik, sondern alle Wissenszweige, insbesondere auch die Philosophie und die Theologie umfaßten, beansprucht der „Doctor mirabilis“, der englische Franziskanermönch Roger Bacon, der erste in der Reihe der Märtyrer, welche die Geschichte des Wiederauflebens der Wissenschaften aufzuweisen hat.

Roger Bacon wurde im Jahre 1214 geboren und studierte in Paris und dann in Oxford, wo er später ein Lehramt bekleidete. Er besaß nicht nur die umfassende Gelehrsamkeit eines Magnus, sondern zeichnete sich vor diesem durch eine weit größere Klarheit und Freiheit des Denkens aus. In seiner Schrift über die Nichtigkeit der Magie[2]) bekämpft er einen der schlimmsten Auswüchse des Mittelalters, den Glauben an die Zauberei, dessen Anhängern er selbst gegen das Ende seines Lebens eine zehnjährige Kerkerhaft verdankte. Sehr wahrscheinlich hat jedoch die Anklage auf Zauberei seinem Orden nur als Vorwand gedient, um ihn daran zu hindern, daß er fortfuhr, gegen den Klerus zu Felde zu ziehen. Besaß doch Bacon die Kühnheit, auf eine Reformation der Kirche

---

1) Eingehender wird Albertus Magnus gewürdigt in E. Meyer, Geschichte der Botanik, IV. S. 9—84. Vergleiche auch Fellner, Albertus Magnus als Botaniker, Wien 1881.

Eine kritische Ausgabe der botanischen Schriften rührt von E. Meyer und K. Jessen her: Alberti Magni de vegetabilibus libri VII, Berlin 1867.

2) Epistola de secretis artis et naturae operibus atque nullitate magiae. Eine Ausgabe dieser Schrift erschien im Jahre 1542 in Paris.

Ausführlicher über Bacon handelt Siebert, Roger Bacon, sein Leben und seine Philosophie. Marburg 1861.

an Haupt und Gliedern, sowie auf eine kritische Behandlung der heiligen Schrift auf Grund der Urtexte zu dringen. Wir müssen ihn daher als den Urheber einer freieren Gestaltung des religiösen Lebens betrachten, welcher fast zur selben Zeit, als die Albigenser ihren Abfall von der Kirche schwer büßen mußten, seine Stimme erhob. Wenn seine Mahnung auch verhallte und nicht imstande war, einen Sturm zu entfesseln, wie ihn z. B. das Auftreten eines Huß im Gefolge hatte, so verdient Bacon doch unter den Vorboten der Reformationsbewegung genannt zu werden. Daß er die Werke des Aristoteles angriff, war für die damalige Zeit ein nicht geringeres Verbrechen.

Andererseits vermag auch Bacon es nicht, sich von den Fesseln der griechischen Philosophie gänzlich zu befreien. So hält er mit Aristoteles an dem Glauben fest, daß die Welt räumlich begrenzt sei. Er sucht auch dialektisch zu beweisen, daß es nicht mehrere Welten oder gar eine unendliche Welt geben könne. Erst viel später, bei Giordano Bruno, tritt uns der Begriff des unendlichen Alls entgegen.

Bacon erkannte ferner die Fehlerhaftigkeit des julianischen Kalenders und machte dem Oberhaupt der Kirche Verbesserungsvorschläge. Seine optischen Kenntnisse gingen über diejenigen Alhazens hinaus. So ist ihm die sphärische Aberration bekannt, d. i. die Tatsache, daß Strahlen, welche parallel der Achse in einen sphärischen Hohlspiegel fallen, sich nur dann genau in einem Punkte schneiden, wenn sie den Spiegel in gleichem Abstande vom optischen Mittelpunkte treffen. Bacons Schriften[1]) sind von phantastischen Ausblicken in die Zukunft der Naturwissenschaften erfüllt. So schreibt er an einer Stelle: „Es können Wasserfahrzeuge gemacht werden, welche rudern ohne Menschen, so daß sie, während ein einziger Mensch sie regiert, mit einer größeren Schnelligkeit dahinfahren, als wenn sie voll schiffbewegender Menschen wären. Auch können Wagen gebaut werden, so daß sie ohne ein Tier mit einem unermeßlichen Ungestüm in Bewegung gesetzt werden.“ Ferner finden sich Bemerkungen, auf Grund deren man ihm die Priorität hinsichtlich der Erfindung des Fernrohres hat zuschreiben wollen. Da aber nicht erwiesen ist, daß Versuche oder auch nur eine klare Einsicht in die Grundzüge der Konstruktion vorlagen, so sind solche Ansprüche, die von englischer Seite herrühren, zurückzuweisen, ohne daß hierdurch die Bedeutung des eigenartigen Mannes eine Schmälerung erlitte.

---

[1]) Das Hauptwerk führt den Titel „Opus majus“. Es wurde herausgegeben von Jebb, London 1733.

In dem Glauben an die Möglichkeit der Metallveredelung war auch Bacon, der sich eng an Geber anlehnte, befangen. Zu bemerken ist, daß er ein Gemenge erwähnt, dessen Entzündung eine furchtbare Erschütterung hervorbringe. Als einen Bestandteil desselben nennt er Salpeter. Offenbar haben wir es hier mit dem Schießpulver zu tun, das um diese Zeit schon von Ostasien her seinen Weg nach Europa gefunden hatte und zuerst in Bergwerken zum Sprengen Anwendung fand, um dann seit dem 14. Jahrhundert seinen Einfluß auf die politische Gestaltung der europäischen Verhältnisse geltend zu machen.

Bis zur Beendigung der Kreuzzüge hatte Westeuropa unter einer überwiegend kirchlichen Führung gestanden. Probleme religiöser und scholastisch-philosophischer Art nahmen während dieser Zeit die denkenden Köpfe fast ausschließlich in Anspruch. Das nunmehr eintretende Sinken der Hierarchie hatte zur Folge, daß das Interesse sich auch anderen Gegenständen zuwandte. Zunächst war es die Wiederbelebung der römischen und griechischen Literatur, die seit Albertus Magnus Zeiten in immer größerem Umfange erfolgte und zu einer wachsenden Vertiefung in den Geist der Antike führte. Es entstand die Richtung, die man als den Humanismus bezeichnet. Brachte sie den Naturwissenschaften auch keinen unmittelbaren Gewinn, so bewirkte sie doch, daß mit den mittelalterlichen Elementen, welche das Denken bisher gefangen hielten, gebrochen und für die Behandlung und die Darstellung wissenschaftlicher Gegenstände Vorbilder gewonnen wurden. Seine Blüte erlebte der Humanismus, als nach der Eroberung Konstantinopels (1453) eine große Anzahl von Gelehrten und mit ihnen griechische Texte[1]) nach Italien gelangten. Die hervorragendsten unter den Humanisten waren Erasmus von Rotterdam, welcher die erste griechische Ausgabe des neuen Testamentes bewerkstelligte, Reuchlin, der die hebräischen Studien ins Leben rief, und Melanchthon. Letzterer entfaltete eine ähnliche Tätigkeit wie Rhabanus Maurus und hat deshalb in der Geschichte des Bildungswesens gleichfalls den Ehrentitel eines Praeceptor Germaniae erhalten. In Deutschland wurde Wittenberg zum Mittelpunkt des Humanismus. Von hier ging auch, durch letzteren gefördert, diejenige freiere Gestaltung des religiösen Lebens aus, welche für das mittlere und nördliche Europa einen Aufschwung von nie gesehenem Umfang einleiten sollte.

---

1) Z. B. der griechische Text der Werke des Archimedes.

Die Wiederbelebung der Schriften des Altertums kam auf naturwissenschaftlichem Gebiete vor allem der Astronomie zu gute, für welche selbst die Kirche immer ein, wenn auch zunächst nur praktisches Interesse bewiesen hatte. Kleriker wie Laien waren nämlich ernstlich darauf bedacht, eine Verschiebung der Fasttage auf profane Tage, wie sie jede Unvollkommenheit des Kalenders mit sich bringen mußte, zu vermeiden. So waren, um ein drastisches Beispiel zu erwähnen, die Begleiter Magelhaens in hohem Grade bestürzt, als sich nach der ersten Weltumsegelung bei ihrem Eintreffen in Spanien aus der Schiffsrechnung ergab, daß man um einen Tag hinter dem Kalender zurückgeblieben war und folglich zu unrechter Zeit gefastet hatte. Zuerst glaubte man an einen Irrtum, bis man die Notwendigkeit einer solchen Erscheinung einsah und infolgedessen später die Datumsgrenze einführte [1]).

Gleich Roger Bacon machte der Kardinal Nikolaus von Cusa im Jahre 1436 Vorschläge zur Verbesserung des Kalenders, sowie der alfonsinischen Tafeln, ohne jedoch damit durchzudringen. Dieser merkwürdige Mann wurde im Jahre 1401 zu Cues an der Mosel als Sohn eines armen Fischers geboren. Seiner Begabung wegen fand er Unterstützung, studierte in Padua und zeichnete sich durch eine mit gewandtem Wesen vereinigte Gelehrsamkeit aus. In päpstlichem Auftrage gelangte er mehrfach nach Konstantinopel und brachte von dort wertvolle griechische Manuskripte nach Italien. Im Verein mit dem Papste [2]) bemühte er sich, griechische Werke durch Übersetzung ins Lateinische allgemein zugänglich zu machen. Bei seiner Beschäftigung mit der Mathematik, Mechanik und Astronomie, der er mit Vorliebe oblag, knüpfte er überall an Euklid, Archimedes und andere alte Schriftsteller an. Er war es auch, der zuerst die eingewurzelte Ansicht, daß die Erde der Mittelpunkt der Welt sei, erschütterte. Nach seiner Lehre ist sie ein Gestirn und befindet sich, wie alles in der Natur, auch in Bewegung.

Gleich einer Stelle aus dem Dialog des Galilei mutet es uns an, wenn Cusa [3]) schreibt: „Es ist jetzt klar, daß die Erde sich wirklich bewegt, wenn wir es gleich nicht bemerken, da wir die Bewegung nur durch den Vergleich mit etwas Unbeweglichem wahrnehmen.“ Auf den Gedanken, daß die Fixsterne ein solches

1) Peschel, Geschichte der Erdkunde. 1877. S. 386.
2) Nikolaus V.
3) Cusa, de docta ignorantia, II 1, 2.

Unbewegliches sind, kommt Cusa indessen nicht, er würde sonst den Kern des kopernikanischen Systems vorweggenommen haben. „Wüßte jemand nicht,“ so fährt er fort, „daß das Wasser fließt und sähe er das Ufer nicht, wie würde er, wenn er in einem auf dem Wasser dahingleitenden Schiffe steht, bemerken, daß das Schiff sich bewegt? Da es daher jedem, er mag auf der Erde, der Sonne oder einem anderen Sterne sich befinden, vorkommen wird, als stände er im unbeweglichen Mittelpunkte, während alles um ihn her sich bewege, so würde er, in der Sonne, im Monde, im Mars stehend, immer wieder andere Pole angeben.“ Blieb auch Cusas System[1]) weit von der Wahrheit entfernt, so wurde doch zum erstenmal an der durch tausendjähriges Bestehen geheiligten Autorität des Ptolemäos gerüttelt und der großen Umwälzung, welche 100 Jahre später durch Kopernikus auf dem Gebiet der Astronomie eintrat, vorgearbeitet.

Ein ähnliches Verhältnis wie zwischen Cusa und Kopernikus begegnet uns auf dem Boden Italiens zwischen Lionardo da Vinci und Galilei, der gleich Kopernikus als Stern erster Größe am Himmel der Wissenschaft erglänzt.

Lionardo da Vinci wurde im Jahre 1452 in der Nähe von Florenz geboren. Da er frühzeitig künstlerische Begabung zeigte, führte ihn sein Vater einem Meister zu, bei dem er malen und modellieren, sowie Metall gießen und Gold schmieden lernte. Ein späterer Kunsthistoriker[2]) erzählt, Lionardo sei die Darstellung einer kleinen Nebenfigur auf dem Gemälde dieses Meisters in solchem Grade gelungen, daß letzterer sich verschworen habe, keinen Pinsel mehr anzurühren, weil ihn ein Knabe übertroffen.

Im beginnenden Mannesalter entwickelte da Vinci eine Vielseitigkeit und Genialität sondergleichen. Der Herzog Ludwig Sforza zog ihn nach Mailand. Den Anlaß dazu bot der Sieg, den da Vinci als Violinspieler in einem musikalischen Wettstreit errungen hatte. Und wie lohnte der Künstler die fürstliche Gunst! Er beteiligte sich mit Eifer an dem Bau des Mailänder Domes und gründete, indem er schon damals seine Vorliebe für die mathematisch-naturwissenschaftliche Richtung bekundet, eine Art Akademie. Auch die Schöpfung des Abendmahles, jenes Kolossalgemäldes, durch welches sich Lionardo mit Raphael und Michel Angelo

---

1) Nach diesem System wurde der Erde eine dreifache Bewegung beigelegt; den jährlichen Umlauf um die Sonne hat Cusa indes noch nicht gelehrt.

2) Vasari.

auf eine Stufe stellte, fällt in jene Zeit des Mailänder Aufenthaltes.

Später sehen wir da Vinci an verschiedenen Orten seines Vaterlandes als Ingenieur und Architekt mit Arbeiten großen Umfangs, wie Kanalbauten, der Anlage von Befestigungswerken, sowie der Anfertigung von Maschinen aller Art — selbst Flugmaschinen fehlen nicht — beschäftigt. Aus dieser auf das Praktische gerichteten Tätigkeit Lionardos erklärt es sich, daß er viel über mechanische Probleme nachgedacht und Schriften darüber verfaßt hat, welche jedoch infolge ungünstiger Umstände die Entwicklung der Wissenschaften wenig beeinflussen konnten und erst in neuerer Zeit ihre Würdigung gefunden haben[1]). Diese Aufzeichnungen enthalten nämlich manche bemerkenswerten Ansätze, welche zu den Arbeiten Galileis hinüberleiten. Am bekanntesten ist Lionardos Ausspruch geworden, daß die Mechanik das Paradies der mathematischen Wissenschaften sei, weil man durch sie zu den Früchten dieser Wissenschaften gelange. Da Vinci handelt aber auch nach diesem Ausspruch, dessen Bedeutung erst die nächsten Jahrhunderte in vollem Maße gewürdigthaben. So untersucht er die Wirkung des Hebels für den Fall, daß die Kräfte in beliebiger Richtung auf ihn wirken. Die Rolle und das Rad an der Welle werden auf den Hebel zurückgeführt. Ferner werden der freie Fall und der Fall auf der schiefen Ebene in Betracht gezogen, wenn auch hier Galilei die erschöpfende Behandlung vorbehalten blieb. Auch die Theorie der Reibung und das schwierige Gebiet der Festigkeitslehre beschäftigten da Vinci, der auch auf anderen Gebieten der Naturwissenschaft Anschauungen entwickelte, welche ihn als einen seine Zeit und deren Denken überragenden Geist erkennen lassen. So werden von ihm die Versteinerungen, die man bisher meist für Naturspiele hielt, als Überreste von Lebewesen gedeutet. Von der Erde heißt es, sie müsse den Bewohnern des Mondes und anderer Gestirne als ein Himmelskörper erscheinen, auch befinde sie sich nicht im Mittelpunkt der Sonnenbahn, ebensowenig wie sie die Mitte des Weltalls einnehme.

---

1) Libri, histoire des sciences mathématiques en Italie. T. III. Dühring, Kritische Geschichte der allgemeinen Prinzipien der Mechanik. Berlin 1873. S. 12 ff. Zwölf Codices von Lionardos Manuskripten befinden sich in der Bibliothek der französischen Akademie. Mit der Veröffentlichung dieses wertvollen Nachlasses wurde aber erst 1881 begonnen: Les manuscrits de Léonard de Vinci, publiés en facsimilés avec transcription littérale, traduction française etc.

Haben Nikolaus von Cusa und Lionardo da Vinci auch keine Grundlagen für die weitere Entwicklung geschaffen wie Kopernikus und Galilei, welche das zur Ausführung brachten, wozu jenen das Vermögen fehlte, so erkennen wir doch aus der Betrachtung, die wir ihnen widmeten, daß das Wirken der großen Begründer der Wissenschaft kein unvermitteltes ist und keineswegs mit dem bisher Erstrebten und Erreichten außer Beziehung steht. Jene Großen haben häufig das, was ihre Zeitgenossen schon dunkel ahnten, aber nur unvollkommen zum Ausdruck zu bringen wußten, in voller Klarheit erfaßt und so begründet, daß es zum unveräußerlichen Besitz der Menschheit wurde. Auf dieser Errungenschaft bauten dann bescheidenere Kräfte weiter, bis ihr unverdrossenes Mühen, welches für den Fortgang der Entwicklung aber unumgänglich nötig ist und nicht gering geachtet werden darf, wieder einem der Großen auf dem Gebiete der Wissenschaft den Weg geebnet. So hatte auch die Astronomie, bevor Kopernikus sein Wirken begann, an der Wiener Universität eine besondere Pflege durch Peurbach und Regiomontan gefunden. Diese Männer, welche ihrerseits an die Alten anknüpften, haben Kopernikus besonders dadurch vorgearbeitet, daß sie die Beobachtungskunst erheblich förderten.

Peurbach wurde im Jahre 1423 in Oberösterreich geboren. Er übersetzte und bearbeitete den Almagest, erkannte aber, wenn er auch an der Ptolemäischen Theorie festhielt, daß eine Verbesserung der vorhandenen Tafeln die erste Bedingung für jeden weiteren Fortschritt der Astronomie sei. Die Abweichungen, welche sich zwischen den alfonsinischen Tafeln[1]) und den Beobachtungen ergaben, erreichten für den Mars z. B. Werte von mehreren Graden. Was Peurbach begonnen, vollendete sein begabtester Schüler, sein Nachfolger auf dem Wiener Lehrstuhl, Johann Müller aus Königsberg, genannt Regiomontanus (1436—1476). Letzterer gab im Jahre 1475 die neuen Tafeln heraus, welche nicht nur für die Astronomie, sondern auch für die Entdeckungsreisen jener Zeit eins der wichtigsten Hilfsmittel wurden. Wir sehen sie in den Händen von Bartholomäus Diaz, sowie in denen Vasco da Gamas auf seinem Wege nach Ostindien. Sie helfen Columbus den neuen Weltteil entdecken, so daß dasjenige, was der stille Gelehrte in einsamen Nachtwachen erdacht und erforscht, den kühnen Seefahrer befähigt, dem europäischen Teil der Menschheit die Erde in ihrem ganzen Umfang zu erschließen.

1) Siehe Seite 60 ds. Bds.

Trotz der schon um 1200 erfolgten Einführung des Kompasses wagten nämlich die Portugiesen, selbst nachdem Heinrich der Seefahrer die Entdeckungsreisen organisiert hatte, zunächst nicht, von der Küstenschiffahrt abzugehen. Viele Jahre kamen ihre Fahrzeuge nicht über das Kap Bojador hinaus, weil man dort ein Riff sah, dessen Brandung sich weit ins Meer hinaus erstreckte. Dem Ungewissen, das die Wasserwüste des atlantischen Ozeans in sich barg, vermochte man erst zu begegnen, nachdem die Astronomie der Schiffahrt die zur Ortsbestimmung geeigneten Hilfsmittel verliehen hatte. Zu diesen gehörte in erster Linie der Kreuzstab (siehe Abb. 9), ein Werkzeug, das zur Messung von Winkeldistanzen auf bewegter See viel geeigneter war als die von Ptolemäos und Kopernikus benutzten Instrumente, unter denen das mit Kreisteilung versehene Astrolabium[2]) und das parallaktische Lineal an erster Stelle zu nennen sind. Abb. 8 zeigt uns das letztere, welches besonders zur Bestimmung der Höhe der Gestirne gebraucht wurde. Waren solche Instrumente, deren sich auch Tycho bediente, fest aufgestellt, und von hinlänglicher Größe, so ließen sich recht scharfe Messungen damit anstellen. Tycho, dessen Arbeiten infolge ihrer Genauigkeit die Entdeckungen Kepplers erst ermöglichten, berichtet, an seinen Astrolabien noch eine sechstel Bogenminute abgelesen zu haben.

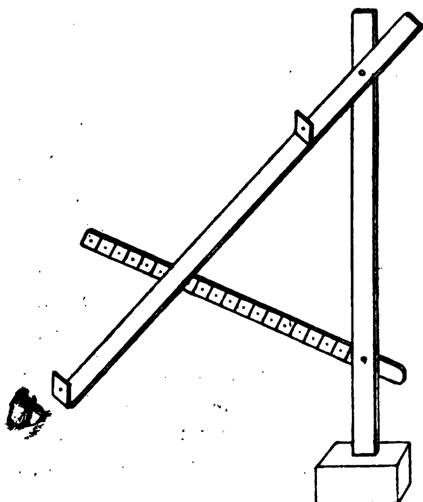


Abb. 8[1]). Das parallaktische Lineal.

Wahrscheinlich ist der Deutsche Martin Behaim (1459 bis 1506), dem die neuere Zeit den ersten Erdglobus verdankt,

---

1) Montucla, Histoire des Mathématiques. Paris. An VII. Tome I pg. 307.

2) Ein mit Gradteilung und Dioptern versehener Ring, in welchem sich eine drehbare, gleichfalls mit Dioptern versehene Scheibe befindet. Eine derartige Vorrichtung wurde schon von Hipparch zum Messen von Winkeln benutzt.

auch derjenige, welcher den Kreuzstab und die Tafeln Regiomontans nach Portugal gebracht und zu Messungen auf bewegter See empfohlen hat[1]). Aus der beifolgenden Abb. 9 ersehen wir die Einrichtung dieses Instrumentes. Der Querstab a wurde so lange verschoben, bis das am Ende des Längsstabes b befindliche Auge die beiden Gegenstände, deren Winkeldistanz gefunden werden sollte, über die Enden von a anvisierte. b trug eine Skala, von der man unmittelbar die jeder Stellung entsprechenden Winkel ablesen konnte.

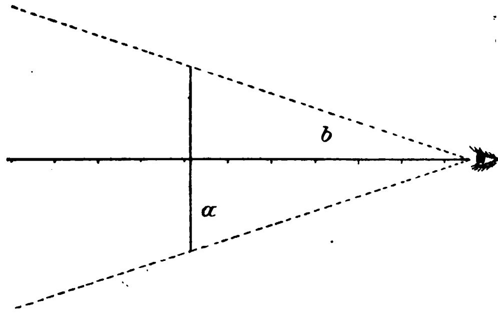


Abb. 9. Schema zur Erläuterung des Kreuzstabes.

Mit einiger Zuverlässigkeit vermochte man indes um diese Zeit nur die geographische Breite zu bestimmen. Hinsichtlich der Länge mußte man sich mit einem bloßen Abschätzen begnügen. Die enge Beziehung in welche zu Beginn des neueren Zeitalters die Astronomie zur Nautik trat, war beiden Gebieten nur förderlich. Während der nächsten Jahrhunderte wurde die Hilfsbereitschaft der Astronomen dazu noch durch hohe Belohnungen angeregt, welche die Schiffahrt treibenden Nationen auf die Lösung praktisch wichtiger Aufgaben setzten. Geister ersten Ranges, wie Galilei und Euler, verschmähten es nicht, ihre Arbeit in den Dienst dieser Sache zu stellen. Die Anregung zu den Entdeckungsreisen ist aber nicht nur auf die Fortschritte der Astronomie und die Bedürfnisse des Handels, sondern auch auf das Lesen der alten Schriftsteller zurückzuführen. Insbesondere gilt dies von Columbus. Die von den Alten herrührenden Nachrichten, welche die allmähliche Ausdehnung ihres geographischen Horizontes betreffen, waren ihm durch das Weltbuch Alliacos[2]) geläufig geworden. Je weiter die Alten

---

1) Breusing in der Zeitschrift für Erdkunde. Berlin 1868. Über Behaims Globus, sowie andere Globen aus dem Zeitalter der großen Entdeckungsreisen siehe: Matteo Fiorini, Erd- und Himmelsgloben, ihre Geschichte und Konstruktion; frei bearbeitet von S. Günther, Leipzig 1895. Kapitel V.

2) Pierre d'Ailly (Petrus de Alliaco) lebte von 1350 bis 1420. Er war ein hoher kirchlicher Würdenträger. In seinem Weltbuch (Imago mundi) findet

die östlichen Grenzen Asiens hinaus verlegt hatten, um so größer war die Wahrscheinlichkeit, daß eine Fahrt nach Westen bald zu bewohnten Ländern führen würde. Nach allem, was an Voraussetzungen, von denen sich Columbus leiten ließ, bekannt geworden ist, muß man seine Entdeckungsreisen über alle früheren Unternehmungen dieser Art stellen. Welche Schwierigkeiten er zu überwinden hatte, braucht hier nicht des näheren erörtert zu werden. Erinnert sei nur an die Versammlung zu Salamanca, welche den Plan des Columbus prüfen sollte. Was mag letzterer wohl empfunden haben, als man ihm entgegenhielt, wenn es auch gelingen sollte, zu den seiner Ansicht nach vorhandenen Gegenfüßlern hinunterzufahren, so würde es doch unmöglich sein, wieder nach Spanien hinauf zu gelangen?

Daß sich trotz des gelehrten am Buchstaben klebenden Dünkels, der nicht etwa nur diese Versammlung erfüllte, das Neue siegreich Bahn brach, ist vor allem der Erfindung der Buchdruckerkunst, sowie auch dem Umstande zu verdanken, daß man im Latein eine Weltsprache besaß, welche einen raschen Austausch der Gedanken zwischen den sich der Zivilisation erschließenden Völkern ermöglichte.

Es war um 1450, als Gutenberg das erste mit beweglichen Lettern hergestellte Buch herausgab. In Paris, in Nürnberg und an anderen Orten entstanden darauf große Druckereien, welche für die damalige gelehrte Welt arbeiteten. Auf die segensreiche Tätigkeit, welche von diesen Stätten ausging, ist es zurückzuführen, daß die Schranken zwischen dem zunftmäßigen Gelehrtenund dem Laientum allmählich verringert und die Errungenschaften des Forschens und Denkens immer mehr zu einem Gemeingut wurden.

Eins der glänzendsten Beispiele für die Vereinigung geistigen und gewerblichen Schaffens und das Zusammengehen eines hochgebildeten Bürgertums mit Künstlern und Gelehrten bietet Nürnberg, wo vorübergehend auch Regiomontan und Behaim wirkten. Für ersteren schuf ein Nürnberger Patrizier mit fürstlicher Freigebigkeit eine Sternwarte. Öffentliche Vorträge belebten das Interesse für die Mathematik und die Naturwissenschaften. Eine 1470, kurz bevor sich Regiomontan in Nürnberg nieder-

---

sich die schon von Roger Bacon geäußerte Ansicht, Asien erstrecke sich soweit nach Osten, daß seine Küste von Spanien aus in wenigen Tagen zu erreichen sei (Tschackert, Peter von Ailly, Gotha 1877. S. 335).

ließ, gegründete Druckerei wurde bald die bedeutendste in Deutschland[1]).

Wir sehen ferner, daß die Wissenschaft nicht mehr von den Geschicken eines oder weniger Völker abhängt, sondern international wird, wodurch ihr Entwicklungsgang stetiger und weniger als bisher durch gewaltsame Ereignisse der äußeren Geschichte beeinflußt erscheint. Endlich übt die Wissenschaft, besonders in der neuesten Zeit, von der gewonnenen Stufe aus eine günstige Rückwirkung auf das politische Leben, von dessen Zufälligkeiten sie sich erst freimachen mußte. Indem sie sich zu einem geistigen Bande zwischen den Völkern des Erdballs gestaltet, bewirkt sie immer mehr den Ausgleich nationaler und religiöser Gegensätze und trägt auch dadurch zur Förderung echter Humanität und Gesittung bei.

Die Geschichte der Wissenschaften erscheint aus diesen Gründen in der Folge nicht mehr so eng mit dem Gang der Weltgeschichte verknüpft wie bisher, wo wir häufig genötigt waren, das Verständnis der ersteren durch Heranziehung der letzteren zu vermitteln.

III. Die neuere Zeit.

Dasjenige Ereignis, welches gewöhnlich als ein Markstein in der Geschichte der Wissenschaften betrachtet wird und mit dem auch wir die neuere Zeit beginnen lassen, ist die Aufstellung des heliozentrischen Weltsystems durch Kopernikus. Man darf jedoch nicht außer acht lassen, daß der geistige Umschwung, dem wir jetzt begegnen, allmählich erfolgte und daß man auf allen Wissensgebieten zunächst an das Vorhandene anknüpfte. Auch ging für die einzelnen Zweige die Befreiung aus den Formen des mittelalterlichen Denkens durchaus nicht gleichzeitig vor sich. Zuerst war es die Astronomie, welche einen erhöhten Standpunkt gewann. Jhr folgten die Physik seit dem 17. und die Chemie seit dem 18. Jahrhundert, während die Naturkunde erst im Laufe des

1) Doppelmayr, Historische Nachrichten von den Nürnberger Mathematikern und Künstlern. 1730.

19. Jahrhunderts auf den Rang einer exakten Wissenschaft erhoben wurde.

Eine Darstellung der neueren Geschichte der Wissenschaften läßt erkennen, daß zahlreiche Aufgaben, um die es sich jetzt handelte, schon im Altertum gestellt wurden. Während des Mittelalters hatte man sie fast sämtlich aus den Augen verloren, die neuere Zeit nimmt sie nahezu dort, wo das Altertum stehen geblieben, wieder auf. Zum großen Teil führt sie diese Aufgaben ihrer Lösung entgegen, sie knüpft aber auch an die gelösten und schwebenden Aufgaben neue Probleme an, welche noch unsere Zeit vollauf beschäftigen, so daß die letztere das Gefühl beseelt, daß sich ein Ende in der Kette der Entdeckungen und Erfindungen nirgends absehen läßt.

Ein kurzer Rückblick soll uns zunächst das Erbe vergegenwärtigen, welches die neuere Zeit vom Altertum übernahm. Die Elemente der Mathematik waren in der Hauptsache entwickelt und am vollständigsten durch Euklid zusammengefaßt worden. Hieran schlossen sich die Untersuchungen des Archimedes und des Apollonios an, welche insbesondere die wichtige Lehre von den Kegelschnitten begründeten. Der Almagest enthielt die Grundzüge der ebenen und der sphärischen Trigonometrie. Das Ziffernsystem und die Anfänge der Algebra verdankte man als Schöpfungen einer späteren Zeit den Indern und den Arabern.

Die Alten hatten ferner gezeigt, in welcher Weise sich die Mathematik auf astronomische und mechanische Probleme anwenden läßt. Das Werk von Ptolemäos und vor allem die Schriften des Archimedes boten zahlreiche Beispiele dafür. Über den Lauf der Gestirne hatte man eine große Summe von Beobachtungen gesammelt; ferner lagen Ansätze zu einer richtigen astronomischen Theorie vor, welche nur der weiteren Entwicklung harrten. Die Methoden und die Instrumente waren im wesentlichen noch dieselben, deren sich die Griechen bedient hatten. Auch gab es im Beginn der neueren Zeit für die Astronomie keine Aufgabe, die sich nicht schon die Alten gesteckt hätten. Die Bestimmung des Umfangs der Erdkugel, ihr Verhältnis zu den übrigen Himmelskörpern, eine genaue Topographie des Fixsternhimmels, genaue Zeit- und Ortsbestimmung, die Vorhersage astronomischer Ereignisse: alles das waren Gegenstände, mit denen sich schon das Altertum, insbesondere die alexandrinische Periode, eingehend beschäftigt hatte und von denen die neuere Zeit vorzugsweise durch das Hauptwerk des Ptolemäos Kenntnis erhielt.

Auch die Statik und die Optik, Gebiete, welche sich für die den Alten geläufige deduktive Behandlung besonders eigneten, empfing die Neuzeit in einer bis zu einem gewissen Grade wissenschaftlich durchgebildeten Form, während bezüglich der übrigen Teile der Physik nur die Kenntnis von mehr oder minder wertvollen Einzelbeobachtungen übermittelt wurde, deren richtige Deutung und weiterer Verfolg der neueren Periode vorbehalten blieb. Es gilt dies namentlich von den magnetischen und den elektrischen Erscheinungen, sowie von dem Verhalten der Gase und der Dämpfe, mit deren Studium Heron von Alexandrien einen vielversprechenden Anfang gemacht hatte.

Auch die Chemie ist in ihren Anfängen auf das Altertum zurückzuführen. Ist es auch nicht mehr möglich, im einzelnen zu entscheiden, welche Kenntnisse Geber und seine Nachfolger den späteren Alexandrinern verdankten und welche sie selbständig erwarben, so muß doch anerkannt werden, daß die Chemie ausnahmsweise dem Mittelalter die größere Pflege und Förderung verdankt[1]). Die Chemie in ihrer ersten unvollkommenen Gestalt war so sehr eine Wissenschaft des Mittelalters, daß sie weit über den Beginn der neueren Zeit hinaus sich nach den in jener Periode gesteckten Zielen bewegt und sich erst spät den Denkformen der neueren Wissenschaft anbequemt hat.

Auf dem Gebiete der beschreibenden Naturwissenschaften knüpfte man gleichfalls dort an, wo das Altertum mit ihrer Bearbeitung aufgehört hatte. Nachdem das Studium des Aristoteles, des Dioskorides und von Theophrast die erste Anregung gegeben, wandte man sich aber in steigendem Maße der eigenen, auf keine Autorität zurückgreifenden Beobachtung zu, der sich alsbald durch die Erweiterung des gesamten menschlichen Gesichtskreises und infolge der Entwicklung der exakten Wissenschaften ein überreiches, den Alten verschlossen gebliebenes Feld eröffnete. Wir gehen jetzt zu der Betrachtung des ersten, den größten Teil des 16. Jahrhunderts umfassenden Abschnitts über, in welchem die im Altertum gelegten Keime nach langem Schlummer sich entfalten sollten.

---

[1]) Neuerdings vertritt Berthelot die Ansicht, daß die Araber die Chemie nicht wesentlich gefördert, sondern nur die von den Griechen herrührenden Tatsachen und Theorien überliefert hätten. Berthelot, Sur la chimie au moyen-âge. 1893.

1. Das Zeitalter des Kopernikus.

Das 16. Jahrhundert war auf allen Gebieten eine Zeit der Vorbereitung, der erst im 17. Jahrhundert der bahnbrechende Fortschritt folgte. Das wichtigste Ereignis jenes Zeitraumes auf dem Gebiete der Naturwissenschaften ist die Aufstellung des heliozentrischen Weltsystems durch Kopernikus und der hierdurch herbeigeführte Umschwung der Astronomie.

Nikolaus Kopernikus wurde am 19. Februar (alten Stils) des Jahres 1473 in Thorn geboren. Polen und Deutsche haben sich um den Ruhm gestritten, ihn zu den Ihren zählen zu dürfen. Ein solcher Streit ist müßig. Kopernikus war einer der großen Geister, welche durch ihr Wirken der Welt gehören. Tatsache ist, daß Thorn zur Zeit seiner Geburt unter polnischer Oberhoheit stand, im übrigen aber, was den gebildeten Teil ihrer Bevölkerung anbetraf, eine deutsche Stadt war. Auch die Mutter des Kopernikus ist zweifellos deutscher Abkunft gewesen. Über die Stammeszugehörigkeit des Vaters läßt sich dagegen keine sichere Entscheidung treffen. Soviel ist jedoch gewiß, daß Kopernikus selbst in seinem Fühlen und Denken ein Deutscher war und sich in allen Dokumenten, die auf uns gelangt sind, wenn er nicht Latein schrieb, der deutschen Sprache bedient hat.

Nachdem Kopernikus das Vaterhaus verlassen, bereitete er sich in Krakau für den medizinischen Beruf vor. Bei der Vielseitigkeit, mit der man in früheren Jahrhunderten die Universitätsstudien betrieb, wurde er indes auch mit der Mathematik und mit der Astronomie vertraut. Auf letzterem Gebiete genoß die Universität Wien, wo Peurbach und Regiomontan gelehrt hatten, einen vorzüglichen Ruf. Dorthin begab sich nach Beendigung seiner medizinischen Studien der spätere Reformator der astronomischen Wissenschaft. Zum Glück für letztere war Kopernikus nicht gezwungen, sofort dem gewählten Berufe nachzugehen. Er war nämlich dadurch günstig gestellt, daß sein Oheim mütterlicherseits, der Bischof von Ermeland, sich seiner annahm und ihm später eine Domherrenstelle des Frauenburger Kapitels verschaffte. Von 1495—1505 hielt sich Kopernikus meist in Italien auf. Dort war im Zeitalter der Renaissance auch die Astronomie emporgeblüht. In Florenz ward unter den Mediceern die erste Akademie nach platonischem Vorbild gegründet. Sternwarten wurden errichtet und Lehrstellen geschaffen. In Italien hatte auch Nikolaus von Cusa seine Anregungen empfangen und von dort nach Deutschland

verpflanzt. Seinem Vorbild folgte nun auch Kopernikus, indem er sich in Italien fast ein Jahrzehnt in der praktischen Astronomie vervollkommnete. Doch ist aus diesem langen Abschnitt seines Lebens, der für die Entwicklung seiner wissenschaftlichen Ideen ohne Zweifel von großer Bedeutung gewesen ist, sehr wenig bekannt geworden. Der Gedanke, welcher seinem System zu grunde liegt, bemächtigte sich des Kopernikus, sobald er in der Blütezeit der Manneskraft selbständig forschend an die Natur herantrat. Diesen Gedanken zu verfolgen und zu begründen, erschien ihm eine Aufgabe wohl wert, sein ganzes übriges Leben in stiller Forscherarbeit ihr zu widmen. Seit der im Jahre 1505 erfolgten Rückkehr bis zu seinem Tode am 24. Mai des Jahres 1543 verblieb er deshalb, von einigen kleineren Reisen abgesehen, in seinem Bistum. Ein beschauliches Leben hat er jedoch in dieser Zurückgezogenheit nicht geführt. Die Zeit, welche ihm die mit seinem Domherrnamt verbundenen Pflichten übrig ließen, war der Armenpraxis in Frauenburg und der sorgfältigen Ausarbeitung jenes großen Werkes gewidmet, in welchem er seine Theorie, sowie die jahrelangen, in zahlreichen Nachtwachen gewonnenen Beobachtungen, auf welche er sie stützte, niedergelegt hat.

Zwei hervorragend wichtige Abschnitte des kopernikanischen Werkes sind im I. Bande dieses Buches[1]) wiedergegeben, die Vorrede nämlich und das Kapitel, welches von der Ordnung der Himmelskreise handelt und den Grundgedanken des heliozentrischen Systems zum Ausdruck bringt. In der an den Papst gerichteten Vorrede wird der Anlaß zu dem Werke und seine Geschichte mitgeteilt. Wir erfahren, daß die Schrift „bis in das vierte Jahrneunt hinein“ verborgen blieb, bis sie zum Druck gelangte. Jedoch hatten befreundete Astronomen, sowie Geistliche, welche sich für die Astronomie interessierten, Kenntnis davon erhalten. Ihrem Drängen nach Veröffentlichung setzte Kopernikus aus begreiflichen Gründen anfangs Widerstand entgegen. Einmal beseelte ihn der Wunsch, Besseres an die Stelle des Vorhandenen zu setzen. Kam es doch vor allem darauf an, der beobachtenden Astronomie einen Dienst zu leisten und ihr das neue Lehrgebiet in einem solch vollkommenen Zustande zu übermitteln, daß es an die Stelle des alten, mit den praktischen Bedürfnissen eng verwachsenen Systems treten konnte. Von einem völligen Gelingen blieb Kopernikus, wie er wohl selbst am besten wußte, in

1) Siehe Bd. I, Abschnitt 8.

dieser Richtung jedoch noch weit entfernt. Auch mochte er wohl ahnen, welch einen Sturm es entfesseln würde, wenn man es versuchte, einer seit Jahrtausenden geheiligten Anschauung den Boden zu entziehen und an deren Stelle eine neue zu setzen, welche der bisher den wesentlichsten Teil der Welt ausmachenden Erde eine nur bescheidene Stelle unter zahllosen Körpern gleichen, ja selbst höheren Ranges einräumte. Ganz zu geschweigen der Gefahr, der eine solche Neuerung ausgesetzt war, als ketzerisch und mit der Bibel im Widerspruche stehend verdammt zu werden.

Erst ein Jahr vor seinem Tode vermochte man Kopernikus zur Herausgabe seiner „Kreisbewegungen“ [1]) zu bestimmen. Der Gelehrte [2]), welcher den in Nürnberg erfolgenden Druck des Buches überwachte, hielt es, ohne von Kopernikus hierzu ermächtigt zu sein, für geraten, in einem besonderen Vorwort das Ganze als eine bloße Hypothese hinzustellen. Daß dies jedoch durchaus nicht im Sinne des Verfassers lag, geht aus dem im I. Bande gebotenen Abschnitte deutlich genug hervor.

Nicht nur die Anregung zur Aufstellung seines Systems empfing Kopernikus aus den Schriften der Alten, von denen er Plutarch und Cicero in der Vorrede namhaft macht, sondern auch den Keim zu seiner Idee fand er bei ihnen vor. Im Beginne des wichtigen Kapitels über die Ordnung der Himmelskreise [3]) erwähnt Kopernikus nämlich die im Altertum entstandene Ansicht, daß Merkur und Venus, von denen es aufgefallen war, daß sie sich niemals weit von der Sonne entfernen, die letztere als ihren Mittelpunkt umkreisen. Kopernikus nennt Martianus Capella (5. Jahrhundert nach Chr. Geb.) als seinen Gewährsmann. Dieser verlegte gleich anderen Berichterstattern den Ursprung der erwähnten Lehre nach Ägypten. Neuere Forschungen haben jedoch den Beweis geliefert, daß sie auf Herakleites Pontikos, einen Schüler Platos, zurückzuführen ist [4]). Herakleites war auch darin ein Vorläufer des Kopernikus, daß er die tägliche scheinbare Bewegung der Himmelskugel aus einer Drehung der Erde von West nach Ost erklärte. Ihre Fortsetzung fanden diese

---

[1]) Nicolai Copernici Torinensis, de revolutionibus orbium coelestium libri VI. Eine Übersetzung von C. L. Menzzer hat der Kopernikus-Verein zu Thorn im Jahre 1879 herausgegeben.

[2]) Osiander.

[3]) Siehe Bd. I, Seite 30.

[4]) Schiaparelli, Die Vorläufer des Kopernikus im Altertum, übersetzt von Curtze.

Lehren dann durch Aristarch von Samos. Aristarch setzte[1]) die Sonne, die er für 300mal so groß wie die Erde hielt, in den Mittelpunkt und ließ die letztere sich in jährlichem Umlauf um jene bewegen. Die heliozentrische Weltansicht war dem Altertum also wohl bekannt. Sie fand sogar den Beifall vieler, trug indes ihrem Urheber, ganz ähnlich wie es später den ersten erklärten Anhängern des kopernikanischen Systems erging, von gegnerischer Seite eine Anklage wegen Gottlosigkeit ein. Doch konnte die heliozentrische Theorie im Altertum keine Wurzel schlagen, da sie noch nicht imstande war, den Anforderungen der praktischen Astronomie zu genügen. Letztere erblickte ihre Aufgabe ja weniger darin, die beobachteten Bewegungen der Sonne, des Mondes und der Planeten zu erklären, als sie genau zu messen und im voraus zu bestimmen.

Daß die ältere, sowie in der ersten Zeit ihres Bestehens auch die neuere Lehre den Beobachtungen nicht genügend entsprachen, lag daran, daß beide an dem Vorurteil festhielten, die Bewegung der Himmelskörper erfolge gleichmäßig und im Kreise. Aristoteles hatte dies gelehrt. Für ihn und alle, die sich nach ihm mit der Astronomie befaßten, Kopernikus eingeschlossen, war dies ein von vornherein feststehender Satz. Die Welt ist kugelförmig, die Erde ist gleichfalls kugelförmig, die Bewegung der Himmelskörper erfolgt gleichmäßig, ununterbrochen und im Kreise: so lauten die Überschriften der wichtigsten Abschnitte des kopernikanischen Werkes. Und warum verhält es sich so? Weil Kreis und Kugel die vollkommensten Formen sind und kein Grund für eine ungleichförmige Bewegung vorliegt, lautet die Antwort. Das goldene Wort des Ptolemäos: „Wer der Wissenschaft wahrhaft dienen will, muß vor allem freien Geistes sein“, war selbst für einen Mann von der Bedeutung des Kopernikus leichter gesagt als befolgt. Auch Keppler war, wie wir sehen werden, anfangs in dem erwähnten Vorurteil befangen. Ihm gelang es aber, sich davon frei zu machen. Als er eingesehen, daß die Beobachtungen sich mit den hergebrachten Anschauungen nicht in Einklang bringen ließen, machte er die Annahme, daß sich die Planeten nicht im Kreise, sondern in Ellipsen bewegen und daß ihre Bewegung ungleichförmig sei. Jetzt waren alle Widersprüche, in denen die heliozentrische Theorie sich den Beobachtungen gegenüber befand, gelöst, und diese Theorie damit erst lebensfähig geworden. Mit ihrem Kerne möge

---

1) Siehe Bd. I, Seite 13 und Bd. II, Seite 18.

der Leser sich an der Hand des im I. Bande mitgeteilten Auszugs durch Kopernikus selbst vertraut machen lassen[1]). Was der letztere gut zu erklären wußte, waren vor allem das scheinbare Rückwärtsgehen und Stillstehen der Planeten, sowie die Veränderungen in der scheinbaren Größe dieser Himmelskörper, welche besonders beim Mars beträchtlich sind. Zur Erklärung anderer Ungleichmäßigkeiten blieb jedoch nichts weiter übrig, als auf die Epizyklentheorie unter Beibehaltung der Sonne als Mittelpunkt des ganzen Systems, zurückzugreifen.

Für die Richtigkeit seiner Darstellung konnte Kopernikus keine schlagenden Beweise, sondern nur die größere Einfachheit ins Feld führen. Dem Einwand, daß die jährliche Bewegung der Erde sich in einer scheinbaren Veränderung der Fixsternörter offenbaren müsse, wußte er nur dadurch zu begegnen, daß er diese Himmelskörper in eine Entfernung versetzte, gegen welche der Durchmesser der Erdbahn verschwindend klein sei. Eigentliche Beweise, sowohl für die Drehung als auch für den Umlauf der Erde, haben erst spätere Jahrhunderte gebracht und dadurch die kopernikanische Lehre auf den Rang einer unumstößlichen Wahrheit erhoben[2]). Neben ihrer Einfachheit konnte Kopernikus für seine Theorie wie Aristarch auch den Umstand ins Feld führen, daß die Sonne der bei weitem größere Weltkörper sei. Das Inhaltsverhältnis Mond: Erde: Sonne ist nach ihm gleich 1 : 43 : 6937[3]). Ferner nahm er die Entfernung der Sonne auf Grund von Beobachtungen, die nach dem von Aristarch herrührenden Verfahren ausgeführt wurden, zu 1197 Erdhalbmessern an. Auch dieses Ergebnis blieb weit hinter der Wahrheit zurück. Wie wir später sehen werden, fand man erst im 18. Jahrhundert durch Messungen, welche die Vorübergänge der Venus vor der Sonnenscheibe zum Ausgang nahmen, einen zuverlässigen Wert für dieses Grundmaß der Astronomie. Dieser übertraf den von Kopernikus angegebenen Wert fast um das Zwanzigfache.

Das Erscheinen der „Kreisbewegungen“, deren erste Druckbogen Kopernikus noch auf dem Sterbebette von seinen Freunden empfangen haben soll, veranlaßte durchaus nicht einen solchen

---

1) Siehe Bd. I, Abschnitt 8.

2) Die Drehung der Erde wurde durch Fallversuche, sowie den Foucaultschen Pendelversuch nachgewiesen, während ihre Fortbewegung im Raume aus der Aberration und der Fixsternparallaxe geschlossen wurde.

3) Anstatt 1 : 49 : 1300000.

Aufruhr unter den Geistern, wie man es in Anbetracht der Wichtigkeit der darin ausgesprochenen Ansichten hätte erwarten können wäre. Dies hatte mehrere Gründe. Die zeitgenössische Astronomie beachtete die Neuerung wenig. Einige dem Kopernikus befreundete Astronomen ausgenommen, hielt man an der Ptolemäischen Lehre fest, zu der man überdies in jener Zeit, welche noch keine Lehrfreiheit kannte, verpflichtet war. Ferner gaben die dem neuen System noch anhaftenden Unvollkommenheiten den berufsmäßigen Astronomen, welchen der praktische Wert ausschlaggebend sein mußte, ein gewisses Recht, zunächst das Hergebrachte in Geltung zu belassen. Auch hatte es Kopernikus verstanden, seine Neuerung in einer alles Tendenziöse und Polemische ausschließenden Weise vorzutragen und jedes Hinüberspielen auf das Gebiet biblischer und religiöser Anschauungen zu vermeiden. So kam es, daß zunächst selbst die Kirche, welche von jedem astronomischen Fortschritt eine Verbesserung ihrer Zeitrechnung erhoffte, das Buch, dem ja sogar eine Widmung an den Papst voranging, duldete und dem Gegensatz kein Gewicht beilegte, in den es, vom Standpunkt des starren Wortglaubens aus betrachtet, zur biblischen Überlieferung trat.

Der großen Masse, selbst der Gebildeten, fehlte bei der damals herrschenden Unkenntnis in naturwissenschaftlichen Dingen aber durchaus das Vermögen, mit eigenem Urteil an die neue Lehre heranzutreten. So läßt sich die Äußerung unseres großen Reformators Martin Luther wohl entschuldigen, welcher meinte: „Der Narr will die ganze Kunst Astronomia umkehren, aber die heilige Schrift sagt uns, daß Josua die Sonne stillstehen hieß und nicht die Erde.“ Daran aber, daß diese Neuerung auf dem Gebiete der Astronomie der Kirche schaden, geschweige denn das religiöse Gefühl beeinträchtigen könnte, hat Luther schwerlich gedacht. Etwas ängstlicher war schon Melanchthon, der auch mehr Verständnis für das Unerhörte dieser Neuerung besaß. Selbst ein eifriger Astrologe, hatte er das Gebäude der damaligen Astronomie in seinem Lehrbuch der Physik zur Darstellung gebracht. Die neue heliozentrische Ansicht hielt er für so gottlos, daß er der Obrigkeit sie zu unterdrücken empfahl. Auch der mehrere Menschenalter später lebende Bacon, welchen übertriebene Schilderungen als den Begründer der neueren Naturwissenschaft gefeiert haben, war der erklärte Gegner des Kopernikus, und zwar zu einer Zeit, als die Frage nach der Richtigkeit des heliozentrischen Systems zu einer die Welt der Geister bewegenden geworden war.

Erst damals, im Zeitalter Galileis, nahm die Kirche zu dieser Frage entschieden Stellung und verbot die „Kreisbewegungen". Das bezügliche Verdikt stammt aus dem Jahre 1616 und wurde erst 1822 wieder aufgehoben, nachdem sein Bestehen jedoch fast in Vergessenheit geraten war.

Einer der ersten begeisterten Anhänger der kopernikanischen Lehre war der Dominikanermönch Giordano Bruno[1]), Spinozas Vorläufer in der Begründung einer pantheistischen Weltanschauung. Seinen divinatorischen Blicken erweiterte sich das Fixsterngewölbe zu einem in Raum und Zeit unendlichen Universum. Er war auch der erste, der die Fixsterne als Sonnen und als Mittelpunkte ungezählter, dem unseren gleichartiger Planetensysteme ansah.

Wie auf dem astronomischen, so machte sich auch auf den übrigen Gebieten der Naturwissenschaft während des 16. Jahrhunderts das Bestreben geltend, die Fesseln der Autorität zu sprengen und Beobachtung und Nachdenken an ihre Stelle zu setzen. Eine zweite epochemachende Tat, die sich derjenigen des Kopernikus an die Seite stellen ließe, haben wir jedoch nicht zu verzeichnen.

Auf dem Gebiete der Physik ist unter seinen Zeitgenossen vor allem Maurolykus (1494—1575) zu nennen. Er lehrte in Messina Mathematik und entstammte einer derjenigen Familien, welche nach der Eroberung Konstantinopels diese Stadt verlassen hatten, um sich den Verfolgungen der Türken zu entziehen. Maurolykus machte sich zunächst um die Mathematik verdient, indem er in einem umfangreichen Sammelwerke alles das zusammenfaßte, was er selbst an mathematischem Wissen den griechischen und arabischen Schriftstellern verdankte. Ein besonderes Verdienst erwarb er sich durch die Herausgabe der archimedischen Werke, sowie von Schriften des Apollonios, dessen Lehre von den Kegelschnitten durch ihn hinsichtlich der Tangenten und Asymptoten sogar erweitert wurde. Sein mathematisches Können betätigte Maurolykus ferner auf dem Gebiete der Optik, welches sich schon früher der Mathematik besonders zugänglich erwiesen hatte. Sein optisches Werk, das er „Über Licht und Schatten" betitelte[2]),

[1]) Giordano Bruno wurde zu Nola im Jahre 1548 geboren. Er durchwanderte lehrend Europa, geriet jedoch mit den herrschenden kirchlichen Dogmen in Widerspruch und wurde, weil er nicht widerrufen wollte, 1600 von der Inquisition zu Rom den Flammen übergeben. Siehe Landsbeck, Bruno, der Märtyrer der neuen Weltanschauung. Leipzig 1890.

[2]) Maurolykus, De lumine et umbra. Venedig 1575.

enthält manchen Fortschritt und viele Richtigstellungen früherer Irrtümer. Maurolykus ist der erste Physiker, welcher die Wirkung der Krystalllinse im Auge richtig erklärt, indem er dartut, daß sich die Strahlen hinter der Linse schneiden. Die Kurz- und Übersichtigkeit leitet er aus einem übermäßigen oder zu geringen Grad der Linsenkrümmung ab. Wenn er damit auch nicht ganz das Wesen der Sache traf, da man heute Unregelmäßigkeiten in den Abmessungen des Augapfels als den Grund dieser Mängel betrachtet, so erschloß sich doch ein theoretisches Verständnis der Brillen, welche schon länger im Gebrauch waren.

Ein schönes Beispiel, wie verschieden ein und dasselbe Problem in aristotelischem Sinne und im Geiste der neueren, den wissenschaftlichen Grundsätzen sich erschließenden Zeit behandelt wurde, bietet die Erklärung des runden Sonnenbildchens. Es ist eine allbekannte Erscheinung, daß die Sonnenstrahlen, welche durch eine unregelmäßig gestaltete Öffnung, etwa ein Schlüsselloch oder eine Lücke zwischen Blättern, senkrecht auf eine ebene Fläche fallen, dort ein kreisförmiges Bild hervorrufen. Die Aristoteliker waren mit ihrer Erklärung, welche die Hohlheit des nicht durch genügende Induktion gestützten philosophischen Denkens treffend dartut, bald fertig. Sie schrieben die Erscheinung einer „Zirkularnatur“ des Sonnenlichtes zu, setzten also an die Stelle einer Erklärung ein Wort, welches das bezeichnet, was zu erläutern ist. Geht man dagegen von der Tatsache aus, daß jeder Punkt der Sonnenoberfläche Licht aussendet und ein Bild von der Gestalt der Öffnung gibt, so werden die unzähligen Bilder, welche sich teilweise decken, insgesamt ein Flächengebilde entstehen lassen, das sich als eine Projektion des leuchtenden Körpers darstellt. Daher muß das Bildchen bei einer Sonnenfinsternis der Gestalt der Sonnenscheibe entsprechend sichelförmig erscheinen, wie es die Beobachtung auch ergibt[1]).

Etwas später fällt die Wirksamkeit des Italieners Johann Baptista Porta (1538—1615). Die Erscheinung dieses Mannes ist typisch für diejenige Stufe einer Disziplin, auf welcher sie noch nicht zu strengerer Wissenschaftlichkeit gelangt ist. Wir finden bei Porta und seinen Zeitgenossen, die sich mit physikalischen

---

1) Die Erklärung des Maurolykus beruht gleichfalls auf der geradlinigen Fortpflanzung des Lichtes; jeder Punkt der Öffnung wird dabei als die Spitze eines von der Sonne ausgehenden Strahlenkegels betrachtet, der auf der anderen Seite der Öffnung seine Fortsetzung findet.

und chemischen Dingen beschäftigen, eine Verquickung von Richtigem und Unrichtigem, von Klarheit mit Mystik und Aberglauben, welche heute, nachdem das Niveau der gesamten Bildung ein so viel höheres geworden ist, eigentümlich anmutet. Das Streben dieser Männer nach größerer Einsicht ging ferner mit einem marktschreierischen Treiben Hand in Hand, durch welches sie ihr eigenes Ansehen und das ihrer Wissenschaft den Zeitgenossen gegenüber heben wollten.

Das Buch, in welchem Porta, ganz dem Geschmacke seiner Zeit entsprechend, die Naturwissenschaften behandelt, ist „Die natürliche Magie“ [1]) betitelt und ähnelt in manchen Teilen einem modernen Zauberbuche, da es dem Autor fast immer darauf ankommt, den Leser zu belustigen oder durch das Überraschende der Erscheinung in Verwunderung zu versetzen. Wichtig ist, daß Porta in seinem Opus eine von ihm getroffene Verbesserung der Camera obscura beschreibt. Bis dahin hatte man bei diesem Apparat das Licht durch eine enge Öffnung auf einen dahinter befindlichen Schirm fallen lassen. Porta blieb es vorbehalten, in der vergrößerten Öffnung eine Linse anzubringen, wodurch die Bilder bedeutend an Schärfe gewannen.

Von Interesse ist ferner eine von Porta herrührende Einrichtung, den Dampf zum Heben von Wasser zu benutzen. Letzteres befindet sich hierbei in einem Gefäß; der Dampf drückt auf die Oberfläche des Wassers und treibt es durch ein heberartiges, bis auf den Boden tauchendes Rohr aus dem Behälter heraus. Eine derartige Vorrichtung, welche gegen das Dampfrad des Heron keinen wesentlichen Fortschritt bedeutet, als die erste Stufe der Dampfmaschine zu bezeichnen, ist zwar nicht gerechtfertigt, doch läßt sich nicht verkennen, daß man auf solche Weise mit der Wirkung gespannter Dämpfe vertraut wurde und so der Gedanke, diese Wirkung auf die einfachen Maschinen der Mechanik zu übertragen, allmählich heranreifte. Erst von diesem Fortschritt an, den wir später zu betrachten haben, kann von einer eigentlichen Dampfmaschine die Rede sein.

Auch den magnetischen Erscheinungen wandte man jetzt eine größere Aufmerksamkeit zu. Aber gerade dieses Gebiet wurde von Porta und Männern verwandten Geistes außerordentlich mit Mystik und Aberglauben verwoben. Mit der Deklination, deren

[1]) J. P. Portae Neapolitani Magia naturalis. 1553 (nicht mehr vorhanden). 1560. 1589.

Größe Porta für Italien gleich 9° östlich angibt, war man schon vor Columbus bekannt. Letzterer machte die Beobachtung, daß die Deklination sich bei einer Reise nach Westen verringerte und schließlich in eine westliche (sie war damals im ganzen Gebiete des Mittelmeeres östlich) überging. Auf Grund dieser Erkenntnis suchte sich Columbus auf seiner zweiten Reise, wenn die Schiffsrechnung unsicher war, durch einen Vergleich der Deklinationen zu orientieren. Es war dies der erste, später oft wiederholte Versuch, die Deklination zur Auffindung der Länge zu verwerten. Eine brauchbare Lösung des Längenproblems, das schon Hipparch und Ptolemäos große Schwierigkeiten bereitet hatte, sollte jedoch nicht auf diesem Wege, sondern erst durch die Erfindung genauer Chronometer ermöglicht werden.

Das zweite Element des tellurischen Magnetismus, die bekannte Erscheinung nämlich, daß die um eine horizontale Achse drehbare Nadel eine geneigte Lage einnimmt, hat zuerst der Engländer Norman genauer beobachtet. Er gab im Jahre 1576 die Größe der Inklination für London zu 71° 50′ an[1]). Auf die wechselnde Intensität des Erdmagnetismus wurde man dann gegen das Ende des 18. Jahrhunderts aufmerksam, so daß erst seit dieser Zeit eine allseitige, auch das Quantitative in der Erscheinung berücksichtigende Kenntnis dieses Phänomens Platz greifen konnte.

Das bedeutendste Ereignis der folgenden Periode ist die Begründung der Dynamik durch Galilei. Aber auch dies geschieht nicht unvermittelt. Fanden sich schon bei Leonardo da Vinci klare, wenn auch noch nicht hinreichend durchgearbeitete Begriffe auf diesem Gebiete der Physik, z. B. bezüglich des Fallens über die schiefe Ebene vor, so mehren sich die Ansätze, je weiter wir uns dem Auftreten Galileis nähern. Vor allem greift eine bessere, schon auf physikalischen Grundsätzen beruhende Auffassung der Wurfbewegung Platz. Man erkennt, daß die Bahn des geworfenen Körpers eine einzige krumme Linie und nicht aus geraden und krummen Stücken zusammengesetzt ist, wie die Peripatetiker behaupteten, sowie daß die größte Wurfweite bei einem Elevations-Winkel von 45° erzielt wird[2]). Auch die Meinung der Aristoteliker, daß ein Körper um so schneller falle, je schwerer er sei, eine

1) Gilbert, de magnete I, 1. Von dem Deutschen Georg Hartmann (1489—1564) rührt eine noch ältere, aber ganz ungenaue Beobachtung der Inklination her (9 Grad anstatt etwa 70 Grad).

2) Tartaglia, Nuova scienza (Venedig 1537).

Ansicht, deren glänzende Widerlegung wir im I. Bande[1]) kennen gelernt haben, wird schon vor Galilei durch einen italienischen Mathematiker[2]) erschüttert. Dieser lehrte, daß Körper von verschiedenem Gewicht beim freien Fall in gleichen Zeiten gleiche Strecken zurücklegen, sowie daß ein im Kreise geschwungener Gegenstand beim Aufhören der Zentralbewegung sich in tangentialer Richtung fortbewegt.

Obwohl man diese Vorarbeiten als die Anzeichen des beginnenden Umschwungs sehr hoch bewerten muß, ist doch Galilei als der eigentliche Begründer der Dynamik zu betrachten, weil durch ihn wie mit einem Schlage fast alles beseitigt wurde, was jener Wissenschaft an Verschwommenheit und aristotelischer Betrachtungsweise noch anhaftete.

Für die Chemie sollte die gleiche befreiende Tat noch lange auf sich warten lassen. Zwar wurde sie durch anerkennenswerte Leistungen weit mehr vorbereitet als die fast unvermittelt uns entgegentretenden Errungenschaften Galileis. Der Umschwung vollzog sich aber trotzdem auf dem Gebiete der Chemie erst gegen den Ausgang des 18. Jahrhunderts. Während nämlich die Grundlagen der Mathematik, der Astronomie und der Statik der neueren Epoche aus dem Altertum schon in wissenschaftlicher Gestalt überliefert wurden, war die Chemie im wesentlichen ein Erzeugnis des Mittelalters und dem Hange dieser Zeit entsprechend stark durch mystische Zusätze getrübt. Wie Roger Bacon und Albertus Magnus wandelten die Vertreter dieser Wissenschaft zu Beginn der neueren Zeit noch ganz in den von Geber vorgezeichneten Bahnen. An den Stein der Weisen, dessen Herstellung nach wie vor das Hauptziel aller experimentellen Bemühungen blieb, knüpfte man die abenteuerlichsten Hoffnungen. Dieser sollte nicht nur, wie bei den älteren Alchemisten, beim Zusammenschmelzen mit unedlen Metallen Gold erzeugen, und zwar unbegrenzte Mengen oder wenigstens 1000 × 1000 Teile, sondern er sollte auch das Leben verlängern, dem Alter die Jugend zurückgeben und alle Krankheiten heilen.

Von der Überzeugung, daß die Darstellung einer solchen Substanz gelungen und Gold vermittelst derselben bereitet sei, war man fest durchdrungen. Die Alchemie erlangte sogar eine gewisse politische Bedeutung. An allen Höfen besaßen Männer, welche

---

1) Siehe Bd. I, Abschnitt 11.
2) Benedetti (1530—1590).

sich angeblich im Besitze dieses Geheimnisses befanden, mehr oder minder großen Einfluß. Nachdem z. B. die englische Regierung[1]) die Gelehrten und die Geistlichen aufgefordert hatte, die Hülfe Gottes zu erflehen, damit die Herstellung des Steins der Weisen endlich gelinge und man die Staatsschulden bezahlen könne, gedieh die Sache bald darauf schon weiter. Dasselbe Land nahm nämlich keinen Anstand, aus alchemistischem Golde geprägte Münzen in Umlauf zu bringen. Doch war man zumal in den geschädigten Nachbarländern aufgeklärt genug, bald zu erkennen, daß es sich hier um eine arge Täuschung handelte[2]).

Einer der eifrigsten Beschützer der Alchemisten und der Astrologen war der deutsche Kaiser Rudolph II., welcher auf den Lebensgang des großen Kepplers einen solch tiefgreifenden Einfluß ausgeübt hat. Als Rudolph II. im Jahre 1612 starb, fand man in seinem Nachlaß viele Zentner Gold und Silber, die als Erzeugnisse der alchemistischen Kunst betrachtet wurden. Wenige Jahre später berichtet van Helmont, ein Mann, von dessen Ehrlichkeit in wissenschaftlichen Dingen wir überzeugt sein dürfen, daß es ihm gelungen sei, acht Unzen Quecksilber mit $^1/_4$ Gran der gesuchten Substanz, welche auf eine etwas mysteriöse Weise in seine Hände gelangt war, in Gold zu verwandeln.

Daß die alchemistischen Bestrebungen stets von neuem Nahrung fanden und sich bis in das 18. Jahrhundert[3]) hinein fortsetzen konnten, so daß wir auf sie noch zurückkommen müssen, darf unter solchen Umständen nicht wundernehmen. Die Chemie erhielt jedoch in dieser Periode, wenn sich ihr Gesamtcharakter zunächst auch wenig änderte, eine Anregung, die für ihre weitere Entwicklung von Bedeutung werden sollte. Neben der Erzeugung des Steines der Weisen wurde es nämlich als ihre zweite wichtige, die erstere immer mehr in den Hintergrund drängende Aufgabe hingestellt, vermittelst ihrer Präparate Krankheiten zu heilen. Es beginnt damit das Zeitalter der medizinischen oder Iatrochemie.

Vorbereitet wurde diese Richtung schon durch den um 1450

---

1) Unter Heinrich IV. im Jahre 1423.

2) Übrigens betrieb Karl VII. von Frankreich, dem die Engländer den Thron zu gunsten ihres Königs Heinrichs VI. streitig machten, dieselbe Art von Falschmünzerei.

3) Vereinzelt selbst bis in das 19. Jahrhundert.

lebenden Deutschen Basilius Valentinus[1]), welcher das alchemistische Problem gegen die neuen Ziele zurücktreten ließ, ohne jedoch die Berechtigung des ersteren in Zweifel zu ziehen. Valentinus lehrte auch zahlreiche neue Verbindungen, insbesondere die Antimonpräparate kennen. Ihren Höhepunkt erreichte die iatrochemische Richtung aber erst mit Paracelsus[2]). Dieser merkwürdige Mann, dessen Lebenslauf hier nicht eingehender betrachtet werden kann, wenn er auch ein Stück Kulturgeschichte zu entrollen geeignet ist, war gleichfalls deutscher Herkunft. Paracelsus wurde im Jahre 1493 geboren, bekleidete eine Zeitlang eine Professur in Basel, führte jedoch im übrigen ein unstätes, viel Ärgernis erregendes Leben, bis er 1541 gänzlich mittellos verstarb. Sein ganzes Auftreten kennzeichnete ihn als einen Auswuchs des reformatorischen Geistes jener Zeit, der sich keineswegs auf das kirchliche Gebiet beschränkte. Insbesondere wandte sich Paracelsus gegen die anerkannten wissenschaftlichen Autoritäten, als welche bislang Geber auf dem Gebiete der Chemie und Galen auf dem der Medizin gegolten hatten. Paracelsus spricht es unumwunden aus, daß der wahre Zweck der Chemie nicht darin bestehe, Gold zu machen, sondern daß es ihre Aufgabe sei, Arzneien zu bereiten, welche man bis dahin nach dem Vorgange Galens fast ausschließlich dem Pflanzenreiche entnommen hatte. In seiner theatralischen Weise übergab Paracelsus die älteren Werke, deren Inhalt er bekämpfte, den Flammen. Und zwar geschah dies, bald nachdem Luther die Brücke dadurch hinter sich vernichtet hatte, daß er die päpstliche Bannbulle öffentlich verbrannte.

Auf die wunderlichen medizinischen Vorstellungen des Paracelsus näher einzugehen, nach welchen z. B. eine schaffende Kraft alle Lebenstätigkeiten regelt, ihrerseits aber wieder in einem engen Zusammenhange mit den Gestirnen steht, verbietet sich von selbst. Der Zusammenhang der Heilkunde mit der Chemie ergibt sich nach Paracelsus daraus, daß die Krankheiten auf Änderungen in der chemischen Zusammensetzung des Körpers zurückzuführen sind. Chemisch wirkende Mittel müssen also den normalen Zustand wieder herbeiführen können. Alle Krankheiten sind von diesem Gesichtspunkte aus entweder durch Zufuhr oder

1) Wir haben es in Basilius Valentinus sehr wahrscheinlich nicht mit einer historischen, sondern mit einer erst später erdichteten Persönlichkeit zu tun, der eine Anzahl alchemistischer Werke zugeschrieben wurden.

2) M. B. Lessing, Paracelsus, Sein Leben und Denken. Berlin 1839.

durch Beseitigung des im gegebenen Falle in Betracht kommenden Elementes heilbar. Fieber werden auf ein Überwiegen des Schwefels, Gicht auf die Ausscheidung von Quecksilber zurückgeführt, Elemente, welche nach der Lehre der Alchemisten neben Salz die Grundbestandteile aller Dinge sind. Kupfervitriol, Quecksilberchlorid, die schon von Basilius Valentinus empfohlenen Verbindungen des Antimons und zahlreiche andere, teils giftige, teils ungiftige Präparate wandern damit in das Arsenal der ärztlichen Heilmittel. Seit dieser Zeit entwickelt sich ferner ein Stand wissenschaftlich gebildeter Pharmazeuten, aus dem manches für den weiteren Ausbau der Chemie bedeutende Talent hervorgegangen ist. Waren doch seit dem Verschwinden der schwarzen Küche der Adepten bis gegen das Ende des vorigen Jahrhunderts die Apotheken vorzugsweise diejenigen Stätten, von denen die praktische Beschäftigung mit der Chemie und die Fortbildung dieser Wissenschaft ihren Ausgang nahmen.

Mit ihrer Entwicklung ist das Emporblühen der Mineralogie, der Chemie der natürlich vorkommenden Verbindungen, stets eng verknüpft gewesen. Um 1500 begegnet uns das erste, sogar deutsch geschriebene mineralogische Lehrbuch, das nicht ein bloßer Abklatsch der aus dem Altertum überkommenen Werke ist, sondern einen bedeutenden Grad von Selbständigkeit und Beobachtungsgabe verrät. Es führt den Namen „Bergbüchlein" und wird dem uns soeben bekannt gewordenen Basilius Valentinus zugeschrieben[1]. Auch Paracelsus schrieb über die Mineralien. Als der eigentliche Vater der neueren Mineralogie ist jedoch der Deutsche Georg Bauer zu betrachten. Er lebte von 1490—1555 und nannte sich, nach damaliger Gelehrtenmode seinen Namen latinisierend, Georg Agricola.

Agricola verbrachte den größten Teil seines Lebens als praktischer Arzt in Joachimsthal. Der Bergbau und das Hüttenwesen dieses Ortes bewogen ihn, die Zeit, welche der Beruf übrig ließ, auf die Beobachtung jener Zweige der Gewerktätigkeit zu verwenden und alles, was er vorfand, mit den bergmännischen Kenntnissen der Alten zu vergleichen. Die Ergebnisse seines unermüdlichen Forschens legte Agricola in mehreren Schriften nieder, welche, wie auch Werner, der Lehrer Alexanders von Humbold und Leopolds von Buch dankbar anerkannte, das Fundament der Mineralogie bis zur neuesten, insbesondere durch die

1) 1800 von Tölden herausgegeben.

drei genannten Forscher begründeten Epoche dieser Wissenschaft bildeten. Das bedeutendste unter den Werken Agricolas ist das im Jahre 1556 erschienene Bergwerksbuch[1]). Es bietet ein vollständiges Bild des damaligen Berg- und Hüttenwesens, sowie der Probierkunde und enthält zahlreiche treffliche Holzschnitte, welche nicht nur die hüttenmännischen Prozesse, sondern auch geologische Einzelheiten, wie Erzgänge, Durchsetzungen, Verwerfungen u. s. w., darstellen. Auch begegnen wir schon bei Agricola der Auffassung, daß die Versteinerungen, die bis dahin als Naturspiele oder als unvollkommene Äußerungen einer im Erdinnern wirkenden bildenden Kraft betrachtet wurden, Überreste von Organismen seien. Insbesondere macht Agricola diesen Ursprung für fossiles Holz und die bekannten Fischabdrücke des Mannsfelder Kupferschiefers geltend. Indes erst viel später, als nämlich die Geologie ihr Hauptziel in der Deutung des mosaischen Schöpfungsberichtes erblickte und die Versteinerungen für die wichtigsten Zeugen der Sintflut ausgab, fand diese Lehre allgemeinen Anklang. Auch in Frankreich und Italien, wo es geringere Schwierigkeiten bot, die Ähnlichkeit fossiler Konchylien mit noch jetzt daselbst im Meere lebenden Arten zu erkennen, neigten aufgeklärte Männer[2]) wenig später als Agricola der richtigen Annahme zu, daß die Fossilien die Überreste von Arten seien, welche an der Stelle, wo sie sich befinden, früher gelebt haben und so erkennen lassen, daß das Meer einst wogte, wo jetzt festes Land ist. Ferner begegnen uns jetzt die ersten mit Abbildungen versehenen Werke über Versteinerungen, unter denen dasjenige Geßners, des deutschen Plinius, hervorzuheben ist[3]).

Es wurde somit in dieser Periode auch für die Mineralogie und für die Geologie ein Grund geschaffen, auf dem sich mit Erfolg weiter bauen ließ. Das gleiche gilt auch von den übrigen Gebieten der Naturbeschreibung, der Botanik, der Zoologie, sowie der Lehre vom Bau und von den Verrichtungen des menschlichen Körpers. Diese Gebiete wurden nicht nur durch das Bekanntwerden der bezüglichen Schriften der Alten zu neuem Leben geweckt, sondern es trat für sie noch ein zweiter günstiger Umstand

[1]) Agricolas Bergwerksbuch. Übersetzt von Bechius 1621. Vergleiche auch Agricolas mineralogische Schriften, übersetzt und mit Anmerkungen von E. Lehmann, Freiberg 1816. Der Titel des Originalwerks lautet: De re metallica libri XII. 1556.

[2]) Wie Palissy und Caesalpin.

[3]) Konrad Geßner, De omni rerum fossilium genere. 1565.

hinzu. Infolge der Entdeckungsreisen wurde nämlich die europäische Menschheit mit einer solchen Fülle neuer Naturerzeugnisse bekannt, wie es nie zuvor in gleichem Maße geschehen war. Daß man jetzt zur selben Zeit die Augen öffnen und die Fesseln des Autoritätsglaubens und der Büchergelehrsamkeit abstreifen lernte, ist für die weitere Entwicklung der beschreibenden Naturwissenschaften gleichfalls von großem Einfluß gewesen. Waren diese Wissenszweige früher nur nebenbei und insbesondere zu Heilzwecken gepflegt worden, so bot sich jetzt eine solche Fülle von Material, daß die Tätigkeit derjenigen, die sich ihnen widmeten, vollauf in Anspruch genommen wurde. Damit mußte die Beziehung dieser Fächer zur Heilkunde ihrer eigenen Bedeutung gegenüber allmählich in den Hintergrund treten.

Mit demselben Rechte, mit welchem man Agricola den Vater der neueren Mineralogie genannt hat, lassen sich die Deutschen Bock und Brunfels als die Väter der neueren Botanik bezeichnen. Die Werke dieser Männer sind unter dem Namen der Kräuterbücher bekannt; sie wurden in erster Linie dadurch hervorgerufen, daß die kommentatorischen Bemühungen, welche man auf die botanischen Werke der Alten zur Zeit des Wiederauflebens der Wissenschaften verwendet hatte, gescheitert waren. Dieses Scheitern ist auf mehrere Gründe zurückzuführen. Einmal trat man bei dem Glauben an die Unfehlbarkeit der Alten an ihre botanischen Schriften mit der Voraussetzung heran, daß die darin abgehandelten Pflanzen das gesamte Pflanzenreich darstellten. Des weiteren suchte man sie, ohne von der geographischen Verbreitung eine klare Vorstellung zu besitzen, in Mitteleuropa, wo sie bei der bedeutenden Verschiedenheit der Floren Griechenlands und Deutschlands nur zum Teil gefunden werden konnten. Als man die Unhaltbarkeit jener Voraussetzungen einsah, verlegte man sich auf eigenes Beobachten und auf das Beschreiben derjenigen Gewächse, die man im Heimatslande vorfand. In dem Kräuterbuche Bocks z. B. ist keine Pflanze berücksichtigt, welche der Verfasser nicht auf Grund eigener Beobachtung gekannt hätte. Es erschien im Jahre 1539 und erläuterte die beschriebenen Arten durch Holzschnitte[1]). Etwa zur selben Zeit begegnet uns zum erstenmal das Verfahren, Pflanzen zu pressen und in Herbarien

1) Hieronymus Bock (1498—1554), New Kreuterbuch von Underscheidt, Würkung und Namen der Kreuter, so in teutschen Landen wachsen.

aufzubewahren. Auch wurden botanische Gärten in Verbindung mit den Universitäten angelegt[1]).

Die Anordnung der Pflanzen in den Kräuterbüchern war anfangs meist die alphabetische. Allmählich mußte aber auf Grund der zahllosen Einzelbeobachtungen das Gefühl für die Zusammengehörigkeit des Ähnlichen und damit die Voraussetzung zur Begründung eines natürlichen Systems sich entwickeln. So wurden bald die Nadelhölzer, die Lippenblüter, die Korbblüter und andere einen charakteristischen Bau aufweisende Pflanzen als natürliche Gruppen herausgefühlt, ein großer Fortschritt gegen die Einteilung in Bäume, Sträucher und Kräuter, der wir im Altertum begegneten. Das medizinische Element nahm jedoch in den Kräuterbüchern immer noch einen breiten Raum ein, wie es auch bei der Anlage botanischer Gärten zunächst maßgebend war. Naiv genug mutet uns noch manches in den Kräuterbüchern, diesen Erstlingserzeugnissen der neueren botanischen Wissenschaft, an. So beginnt Bock, dem man nachrühmte, daß er die Natur oft wirklich male, mit folgenden Worten: „Nach Erkundigung aller Geschrift erfindet sich's klar, daß der allmächtige Gott und Schöpfer der allererste Gärtner, Pflanzer und Baumann aller Gewächse ist.“ Sodann wird Adam als der zweite Botaniker gepriesen, weil er alle Pflanzen mit ihrem rechten Namen belegt habe. Auf ihn folgen die Botaniker Kain, Noah u. s. w.

Während das induktive Verfahren, dessen Ansätze uns in den Kräuterbüchern begegnen, schon im Zeitalter Galileis zu einer wenn auch noch sehr mangelhaften natürlichen Systematik führte[2]), ging man in Italien bei der Neubegründung der Botanik in aristotelischer Weise von vorher geschaffenen Einteilungsprinzipien aus. Hier suchte Caesalpin den immer mehr anschwellenden Artenreichtum zu bewältigen, indem er seiner Anordnung insbesondere die Beschaffenheit der Früchte zu Grunde legte. Diese Richtung der einseitig künstlichen Systematik wurde in der Folge zunächst zur herrschenden, da sie dem Bedürfnis der Praxis besser entsprach als die noch unvollkommene natürliche Gruppierung, welche für die Wissenschaft jedoch einen höheren Wert besitzt. Wir werden später Linné als denjenigen kennen lernen, dem das von Caesalpin

[1]) Die ersten botanischen Gärten entstanden um die Mitte des 16. Jahrhunderts zu Padua und Pisa. Es folgten Leyden 1577, Leipzig 1580 und Berlin im Jahre 1714.

[2]) Durch Kaspar Bauhin. Index plantarum nomina secundum genera et species proponens. Basel 1623.

erstrebte Werk gelang. Linné erwies diesem seinem Vorgänger auch alle Anerkennung, indem er ihn als den ersten wahren Systematiker bezeichnete.

Wie auf botanischem, so regte sich auch auf zoologischem Gebiete das Bestreben, über das von den Alten überlieferte Maß von Kenntnissen hinauszuschreiten und die bekannten Tierformen, deren Zahl sich durch Entdeckungsreisen immerfort vergrößerte, auf Grund eigener Beobachtung zu beschreiben und mit möglichster Naturtreue darzustellen. So entstanden mehrere umfassende Werke, wie dasjenige des Schweizers Konrad Geßner (1516—1565) und des Italieners Aldrovandi (1522—1605). Geßner, dem sein Vaterland das erste Naturalienkabinett verdankt, beschrieb in seiner „Naturgeschichte[1]" den äußeren Bau der Tiere unter Berücksichtigung ihres Vorkommens, ihrer Lebensweise, des Nutzens, den sie gewähren u. s. w. Seine Anordnung war die alphabetische, was in bezug auf Systematik gegen Aristoteles, welcher die großen natürlichen Gruppen, wie wir sahen, schon erkannt hatte, einen offenbaren Rückschritt bedeutet. Doch macht sich bei Geßner das Bestreben geltend, die Zoologie von den gerade auf diesem Gebiete so sehr überwuchernden Fabeln zu reinigen. Letztere werden zwar gewissenhaft angeführt, doch geschieht dies nicht, ohne daß Bedenken dagegen erhoben werden. Geßner veröffentlichte auch ein Werk über Fossilien, welches wohl die ersten Abbildungen von Versteinerungen enthält[2]). Bedenkt man, daß derselbe Mann auch über Botanik schrieb, praktischer Arzt war und eine Zeitlang eine Professur der griechischen Sprache bekleidete, so erhalten wir einen Begriff von der vielseitigen Gelehrsamkeit, die uns in der auf das Emporblühen des Humanismus folgenden Zeit so häufig begegnet.

Ein weiterer wichtiger Fortschritt auf zoologischem Gebiete bestand darin, daß man sich nicht mehr auf das Beschreiben der äußeren Form beschränkte, sondern in den Bau der Tiere einzudringen suchte. So finden wir bei Aldrovandi schon Abbildungen des Skeletts, der Muskulatur, sowie der innersten Organe. Dieses Streben nach einem tieferen Eindringen in den Gegenstand kam vor allem auch der Anatomie zu gute, deren Ziel man in eine möglichst genaue Beschreibung aller Formverhältnisse setzte. Selbständigkeit der Beobachtung und Befreiung

---

1) Geßner, Historia animalium libri V.

2) Siehe Seite 108 ds. Bds.

von der Autorität des Altertums, insbesondere von Galen, kennzeichnen die Bestrebungen auf diesem Gebiete. Vor allem ist hier Vesal als der eigentliche Begründer der wissenschaftlichen Anatomie des Menschen zu nennen.

Andreas Vesal (1514—1564) war der Sprößling einer aus Wesel stammenden deutschen Ärztefamilie. Schon als Knabe wandte der spätere Professor der Anatomie und Chirurgie und Leibarzt Kaiser Karls V. sein Interesse der anatomischen Untersuchung kleinerer Tiere zu. In den letzten Jahrhunderten des Mittelalters hatten zwar hin und wieder Zergliederungen menschlicher Leichen stattgefunden; man verfolgte dabei indes keinen anderen Zweck als den, die Lehren Galens, welcher eine unbedingte Autorität genoß, als richtig zu bestätigen. Wie schwierig es selbst später noch war, sich Material zum Studium der Anatomie zu verschaffen, geht unter anderem daraus hervor, daß der junge Vesal, um in den Besitz eines menschlichen Skeletts zu gelangen, einen Gehenkten mit Gefahr seines Lebens vom Galgen entwenden mußte.

Das große Hauptwerk Vesals führt den Titel „Über den Bau des menschlichen Körpers“[1]). Es ragt durch scharfe Erfassung und klare Wiedergabe des Gegenstandes, durch Ursprünglichkeit des Inhalts und Schönheit der sprachlichen Darstellung weit über alle ähnlichen Erzeugnisse dieser Periode hervor und erregte die höchste Bewunderung der Zeitgenossen, sowie der späteren Jahrhunderte. Die meisterhaften Abbildungen des Werkes rühren von einem Schüler[2]) Tizians her. Um dem Leser einen Begriff von der naturgetreuen Ausführung zu geben, ist in der nachfolgenden Abbildung 10 eine der zahlreichen, das Muskelsystem betreffenden Tafeln dargestellt.

Die Erkenntnis, daß sich ein volles Verstehen der Form erst durch das Studium ihrer Entwicklung erschließen läßt, begegnet uns gleichfalls schon im 16. Jahrhundert, wenn sich auch diese Erkenntnis erst in späteren Perioden, gestützt auf die Verschärfung, welche der Gesichtssinn durch das Mikroskop erfuhr, allseitig Bahn brechen konnte. So wird die Entwicklung des Hühnchens im Ei, ein Problem, das schon Aristoteles beschäftigt hatte, zum Gegenstand eingehender Untersuchungen gemacht. Dies geschah durch den verdienten italienischen Anatomen

---

1) De humani corporis fabrica libri VII. Basel. 1543.
2) Johann Stephan von Calcar.



Abb. 10. Abbildung aus Vesals De humani corporis fabrica. 1543.
(Zweite das Muskelsystem betreffende Tafel.)

Fabricius[1]), welcher auch bemerkte, daß die Klappen der Venen sich nach dem Herzen öffnen. Diese Entdeckung hat nebst anderen, die Organe des Kreislaufs betreffenden Beobachtungen[2]) den größten physiologischen Fortschritt des 17. Jahrhunderts, die Entdeckung des Blutkreislaufs durch Harvey nämlich, vorbereitet.

Wir haben hiermit die Betrachtung desjenigen Zeitabschnitts beendet, in welchem das Wiederaufleben der Wissenschaften erfolgte. Wir sahen, daß man zwar auf allen Gebieten an die seit der Mitte des 15. Jahrhunderts aus reinerer Quelle fließenden Kenntnisse der Alten anknüpfte, sich jedoch nicht, wie früher, gänzlich der Autorität gefangen gab. Selbstbeobachten, eigenes Forschen wurde in den hervorragendsten Köpfen dieses Zeitalters zum Losungswort. Zwar wurde noch kein neues Gebäude der Wissenschaften errichtet, wohl aber wurde auf allen Gebieten mit den Vorarbeiten begonnen und die Tätigkeit des nachfolgenden Zeitalters erst ermöglicht, dessen Aufgabe darin bestand, die dauernden Fundamente der neueren Naturwissenschaft zu legen.

2. Während der von Galilei bis zum Auftreten Newtons reichenden Periode erstehen die Grundlagen der neueren Naturwissenschaften.

Wie mächtig der Drang nach einer Weiterentwicklung in der eingeschlagenen Richtung geworden, geht unter anderem daraus hervor, daß die Naturwissenschaften trotz der großen politischen Zuckungen, denen der größte Teil Europas während der ersten Hälfte des 17. Jahrhunderts ausgesetzt war, und entgegen zahlreichen rückgängigen Bestrebungen, welche meist in religiöser Unduldsamkeit ihren Ausgangspunkt nahmen, dennoch ungehemmt fortschritten.

Italien und in zweiter Linie Deutschland waren in der vorigen Periode der Boden, auf dem eine Wiedergeburt der Naturwissenschaften erfolgte. In diesen Ländern finden auch die neuen Bemühungen vorzugsweise ihre Fortsetzungen; hier werden die Grundlagen für

1) Fabricio ab Aquapendente (1537—1619), De formatione ovi.

2) z. B. daß die Herzscheidewand, durch welche Galen das Blut aus dem rechten in den linken Ventrikel hindurchtreten ließ, undurchdringlich ist.

den stolzen Bau gelegt, den die nachfolgenden Jahrhunderte errichten sollten. Daß das aus tausend Wunden blutende Deutschland des 17. Jahrhunderts auf diesem Felde mitzuwirken vermochte, indem es einen Keppler und einen Guericke hervorbrachte, deren Forschungseifer nicht erlahmte, wie tief auch die Ereignisse des dreißigjährigen Krieges in ihr Leben eingriffen, verdient in ganz besonderem Maße die Bewunderung der Nachwelt.

England, das von gewaltsamen Eingriffen in den Gang seiner Entwicklung stets weniger gelitten als die Festlandsstaaten, hatte unter der langen, segensreichen Regierung Elisabeths einen mächtigen Aufschwung in politischer, wirtschaftlicher und geistiger Beziehung genommen und beteiligte sich seit dem Beginn des 17. Jahrhunderts gleichfalls an dem Aufbau der Naturwissenschaften. Ja, nach der Unterbrechung, welche die ruhige Entwicklung dieses Landes in der Mitte des 17. Jahrhunderts durch den Bürgerkrieg erfahren hatte, erhob sich England im Zeitalter Newtons zu dem Range der ersten naturforschenden Nation. Frankreich hat sich nicht in gleichem Maße wie die genannten Länder an der Schöpfung der Grundlagen der neueren Naturwissenschaft beteiligt; um so mehr hat es sich aber um ihre Fortbildung gegen das Ende des 18. und im Beginn des 19. Jahrhunderts verdient gemacht. In diesem späteren Zeitabschnitt nahm Frankreich die gleiche führende Stellung ein, welche England hundert Jahre früher zu Newtons Zeit besessen hatte.

Der neue, in den Arbeiten eines Galilei, Gilbert und Keppler ihren Höhepunkt erreichende Abschnitt ist dadurch besonders gekennzeichnet, daß man die wichtigsten Hilfsmittel zur Verschärfung der Sinne hervorbringt und infolgedessen einen weit tieferen Einblick wie bisher in die Vorgänge der Natur zu tun vermag. Was die früheren Zeitalter an solchen Hilfsmitteln besaßen, erhob sich wenig über den Rang einfacher, durch handwerksmäßiges Schaffen hergestellter Werkzeuge. Jetzt treten uns auf wissenschaftlichen Grundsätzen beruhende, der planmäßigen Forschung dienende Instrumente in größerer Zahl entgegen. Gleich an der Schwelle dieser Periode sind es die beiden wichtigsten, das zusammengesetzte Mikroskop und das Fernrohr, welche um 1590, beziehungsweise um 1609 erfunden wurden.

Die Glaslinse und ihre vergrößernde Kraft war zwar seit alters bekannt. Auch waren die Erscheinungen, welche die verschiedenen Arten der Spiegel darboten, da sie sich einer Erklärung durch geometrische Konstruktion zugänglich erwiesen, stets ein

Lieblingsgegenstand der Mathematiker gewesen. Die Zusammenfügung mehrerer Linsen, in welcher das Eigentümliche des zusammengesetzten Mikroskops und des Fernrohrs besteht, scheint dagegen ohne einen leitenden theoretischen Gedanken als ein bloßes Spiel des Zufalls stattgefunden zu haben. Trotz der verwickelten Geschichte dieser Instrumente, und obgleich mehrere Kulturvölker Europas Prioritätsansprüche erhoben haben, ist doch soviel festgestellt, daß der Ruhm beider Erfindungen den Niederländern gebührt, bei denen die Glas- und Steinschleiferei schon zu jener Zeit in Blüte stand und die Herstellung von Linsen zwecks Verfertigung von Brillen gewerbsmäßig betrieben wurde.

Es würde zu weit führen, wenn wir uns hier mit der Abwägung von Prioritätsansprüchen befassen wollten[1]). Nicht nur Roger Bacon und Porta wurden auf Grund dunkler Stellen ihrer Werke für die Erfinder des Fernrohrs gehalten, sondern im Hinblick auf Matthäus 4, 8 wurde von ernsthafter Seite das neue Werkzeug sogar für eine Erfindung des Teufels ausgegeben[2]). Letzteres sei nicht etwa der bloßen Kuriosität wegen angeführt, sondern um die mißbräuchliche Anwendung zu zeigen, welche, wie wir noch des öfteren sehen werden, von der heiligen Schrift gemacht wurde. In den meisten Fällen geschah dies, um in dunkelmännischer Weise, wie einst dem Emporblühen des Humanismus, der zu immer größerer Bedeutung heranwachsenden Naturwissenschaft Hemmnisse zu bereiten. Dies Bestreben hat zwar einzelnen Vertretern dieser Wissenschaft Verfolgungen und Leiden eingetragen; für den gesamten Gang der Entwicklung, welcher vom Dunkel zum Lichte führte, sollten sie indes belanglos bleiben.

Das erste zusammengesetzte Mikroskop bestand aus der Vereinigung einer Bikonvex- oder Sammel- mit einer Bikonkav- oder Zerstreuungslinse; erstere diente als Objektiv, letztere als Okular.

Dieses Instrument wurde[3]) von dem holländischen Glasschleifer Zacharias Jansen um das Jahr 1590 erfunden. Eins der

---

1) Siehe darüber: Servus, Die Geschichte des Fernrohrs bis auf die neueste Zeit. Berlin 1886. Petri, Das Mikrokoskop von seinen Anfängen bis zu seiner jetzigen Vervollkommnung. Berlin 1896.

2) So von dem gelehrten Montanus. Die betreffende Bibelstelle lautet: Wiederum führte ihn der Teufel auf einen sehr hohen Berg und zeigte ihm alle Reiche der Welt und ihre Herrlichkeit.

3) Nach dem Zeugnis des belgischen Gesandten Borelius. Das betreffende lateinisch verfaßte Schriftstück findet sich in Wildes Geschichte der Optik, I, 147 wiedergegeben.

ältesten Exemplare war $1^1/_2$ Fuß lang; auf das Fußgestell gelegte Gegenstände erschienen beim Hineinblicken sehr vergrößert.

Die heutigen zusammengesetzten Mikroskope sind bekanntlich anders eingerichtet. Sie bestehen aus zwei Sammellinsen oder aus zwei Linsensystemen, von denen jedes wie eine einzige Sammellinse wirkt. Die dem Gegenstande genäherte Linse A, das Objektiv, erzeugt ein physisches Bild, welches durch die zweite, Okular genannte Linse B, wie durch eine Lupe betrachtet wird (siehe Abb. 11). Diese Konstruktion kam später auf; wir begegnen ihr erst im 2. Jahrzehnt des 17. Jahrhunderts, nachdem Galilei das Fernrohr verbessert und auf den Himmel gerichtet hatte.

Auch das letztere Instrument bestand in seiner ersten Einrichtung, welche von dem holländischen Brillenmacher Johannes Lippershey herrührt, in der Verbindung einer Konvexlinse als Objektiv mit einer Konkavlinse als Okular. Diese Vereinigung

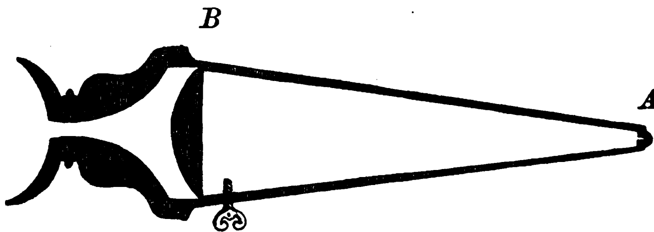


Abb. 11. Das aus zwei Sammellinsen bestehende Mikroskop[1]).

wird bekanntlich noch jetzt als holländisches Fernrohr bezeichnet und in binokularer Ausführung den heutigen Operngläsern und Krimstechern zu grunde gelegt. Auch hier leitete der Zufall auf die Erfindung. Es wird erzählt, Lippershey habe seine Linsenkombination auf die Wetterfahne eines nahen Kirchturmes gerichtet und sei von der vergrößernden Wirkung überrascht gewesen.

Bei dem regen Gedankenaustausch, der damals schon im Gegensatz zu der wechselseitigen Abschließung, welche das Mittelalter kennzeichnete, die Völker Europas verband, verbreitete sich die Kunde von der wunderbaren Erfindung mit großer Schnelligkeit. So berichtet auch der französische Gesandte bei den Generalstaaten seinem König Heinrich IV. darüber. Letzterer erwidert: „Ich würde die Fernröhre, von denen Sie mir schreiben, mit

1) Hookes Micrographia, London 1667, Schem. I, Abb. 4.

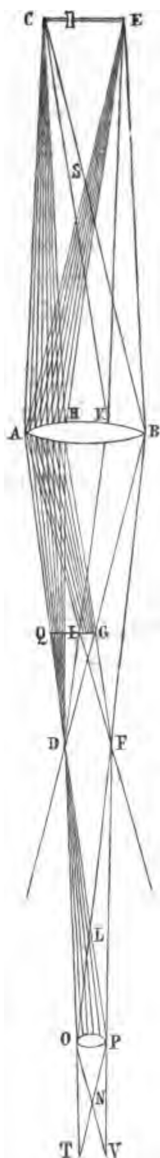


Abb. 12. Kepplers Konstruktion des astronomischen Fernrohrs (aus Kepplers Dioptrik).

Vergnügen annehmen, wiewohl mir jetzt Instrumente, um die Dinge in der Nähe zu sehen, viel nötiger wären." Wie sehr der König recht hatte, sollten die Ereignisse lehren, denn schon nach Jahresfrist machte der Mordstahl seinem tätigen Leben ein Ende.

Auch nach Italien, wo sich Galilei auf der Höhe seines Schaffens befand, gelangte alsbald die Nachricht von der neuen Erfindung. Mit welchem Eifer Galilei sich der Sache annahm, hat er selbst in einer kleinen Schrift erzählt, welche über die ersten ihm gelungenen astronomischen Entdeckungen berichtet. Dort heißt es[1]): „Vor zehn Monaten etwa kam das Gerücht zu unseren Ohren, ein Niederländer habe ein Instrument erfunden, vermittelst dessen man entfernte Dinge so deutlich wie nahegelegene sehe. Das veranlaßte mich, darauf zu sinnen, wie ich zur Verfertigung eines solchen Instrumentes gelangen könnte. Ich verfiel darauf, an den Enden eines Bleirohrs zwei Gläser anzubringen, ein plankonvexes und ein plankonkaves. So sah ich die Gegenstände dreimal so nahe und neunmal vergrößert. Da ich weder Arbeit noch Kosten scheute, bin ich soweit gekommen, daß mir die Sachen fast 1000 mal so groß und 30 mal näher erscheinen, als wenn man sie mit bloßem Auge betrachtet."

Das Fernrohr, welches Galilei anfertigte, war also gleichfalls ein holländisches, während das eigentliche astronomische Fernrohr wie das spätere zusammengesetzte Mikroskop zwei Sammellinsen besitzt. Die Konstruktion des astronomischen Fernrohrs wurde von Keppler in seiner Dioptrik[2]) (siehe Abb. 12) angegeben, dem hervorragendsten Werk, das zu Beginn der

---

1) Galilei, Sidereus nuntius, 1610. Le opere di Galileo Galilei, Edizione nazionale. Volume III. Parte prima. pg. 60. Firenze 1892.

2) Johannis Kepleri Dioptrice. 1611. Kepleri Opera omnia (ed Frisch) II 515 ff.

neueren Zeit über die Brechung des Lichtes geschrieben wurde. Danach[1]) werden zwei Konvexlinsen so verbunden, daß die entferntere A B allein dem außerhalb O P befindlichen Auge ein umgekehrtes aber undeutliches Bild liefern würde. Durch die Einschaltung der dem Auge näher befindlichen Linse O P werden die von D und F aus divergierenden Strahlen konvergent gemacht und so ein deutliches, wenn auch noch umgekehrtes Bild wahrgenommen. Daß sich durch Einfügung einer dritten Konvexlinse das umgekehrte Bild, welches ein solches Fernrohr liefert, in ein aufrechtes verwandeln läßt, hat Keppler gleichfalls dargetan[2]). Merkwürdigerweise wurde sein astronomisches Fernrohr nicht von ihm selbst, sondern einige Jahre später nach den Angaben der Dioptrik von dem Jesuiten Scheiner, dem wir in der Lebensgeschichte Galileis noch begegnen werden, zum erstenmal angefertigt.

Auf dem Boden Italiens hatte das Wiederaufleben der Antike stattgefunden, dort entstanden durch Galilei und seine Schüler auch die Fundamente der neueren Naturwissenschaft. Zu der Zeit als sich das Dunkel des Mittelalters zu lichten begann, war Italien in zahlreiche Republiken und Fürstentümer zerfallen, welche in kriegerischem, sowie in friedlichem Wettbewerb um die Herrschaft rangen. Ihre Nahrung zogen diese kleinen Staatsgebilde vorwiegend aus dem Handel und dem Gewerbe. Seitdem sich die italienischen Seefahrer der Bussole und der geographischen Karten bedienten, hatte sich ein stetig wachsender Verkehr mit der Levante entwickelt. Eine Folge davon war das Emporblühen des Kunstgewerbes. Venedigs Glasgegenstände, sowie die Majoliken und Metallgüsse anderer italienischen Städte galten als unübertroffen. Auf demselben Boden erwuchs auch die Kunst eines Leonardo da Vinci, Raphael und Michel Angelo, nachdem im Beginn dieser Periode Dante und Petrarka ihre unvergänglichen Dichtungen geschaffen. In dem Maße wie die Blütezeit der Kunst sich ihrem Ende zuneigte, begann der wissenschaftliche Geist seine Schwingen zu regen. An demselben Tage, an welchem Michel Angelo die Augen für immer schloß, erblickte Galilei das Licht der Welt. Die Natur, sagt Libri[3]), schien

---

[1]) Dioptrice, Problema LXXXVI. Duobus convexis majora et distincta praestare visibilia, sed everso situ.

[2]) Kepplers Dioptrik im 89. Problem; dasselbe lautet: Tribus convexis erecta et distincta et majora praestare visibilia.

[3]) Libri, Histoire des sciences mathématiques en Italie. Bd. III S. 201.

andeuten zu wollen, daß die Kunst das Scepter an die Wissenschaften abgetreten habe.

Galileo Galilei wurde am 18. Februar (alten Stils) des Jahres 1564 in Pisa geboren. Diese Stadt war im Mittelalter eine freie gewesen; zur Zeit Galileis befand sie sich unter florentinischer Herrschaft, welche damals in den Händen des berühmten Geschlechts der Mediceer ruhte. Der Vater Galileis, ein verarmter Edelmann, besaß eine große Vorliebe für Musik und Mathematik. Der junge Galilei zeichnete sich durch Lernbegierde, sowie durch Selbständigkeit des Denkens aus. Er widmete sich in Pisa zunächst dem Studium der Medizin, einer Wissenschaft, welche in ihrer damaligen Verfassung wenig geeignet war, einen Geist wie denjenigen Galileis zu fesseln. Es wird erzählt, daß er vor der Tür den Vorträgen eines Mathematikers lauschte und von den Hörern einige Brocken zu erhaschen suchte. Sobald der Vortragende davon erfuhr, nahm er sich des jungen Menschen an und bewirkte, daß dieser das Studium der Medizin mit demjenigen der Mathematik vertauschte.

Als Fünfundzwanzigjähriger betritt Galilei die Lehrkanzel für dieses Fach. Da er indes mit einer nie zuvor in solchem Maße gesehenen Kühnheit die eigene wissenschaftliche Überzeugung über die Autorität stellte, machte er sich in Pisa, wo man ihn des beharrlichen Verfechtens seiner Meinung wegen den Zänker nannte, auf die Dauer unmöglich. Mit Freuden folgte er daher einem vom venetianischen Senat an ihn ergangenen Ruf an die Universität Padua[1]). Die Eigenart Galileis, seine Ansichten auf eigene Beobachtung und zweckmäßig ersonnene Versuche zu stützen, hat sich schon in den ersten Jahren seiner wissenschaftlichen Tätigkeit zu Pisa geäußert. So ließ er Holz, Marmor und Blei von dem schiefen Turme fallen und zeigte, daß, entgegen der Behauptung der Aristoteliker, die Fallzeit für Körper von verschiedenem Gewicht dieselbe sei. Durch den Wind in Schwingungen versetzte Kronleuchter sollen seine später zu besprechenden Forschungen über die Pendelbewegung veranlaßt haben.

Euklid, Apollonios und Archimedes boten ihm während dieser Zeit des wissenschaftlichen Heranreifens die meiste Anregung; auch war er schon frühzeitig der kopernikanischen Lehre zugetan. In einem wenige Jahre nach seiner Übersiedelung an Keppler gerichteten Briefe bekennt er nämlich, daß er „seit

---

1) Wo er am 7. Dezember 1592 seine Antrittsvorlesung hielt.

vielen Jahren" Anhänger der neuen Weltanschauung sei. Aus dem Schüler wird aber bald ein Meister, der seine Lehrer überflügelt. Nicht in dem Erlernen, sondern in der Weiterentwicklung der Wissenschaft erblickte Galilei seine Aufgabe. Wo Erstarrung eingetreten war, galt es, durch neue Wege und bessere Methoden den Fortschritt der Erkenntnis herbeizuführen. In dieser Richtung sehen wir ihn in wachsendem Maße sich betätigen, seitdem er das Lehramt in Padua angetreten.

Die Befreiung von den Banden der Scholastik findet auch darin ihren Ausdruck, daß Galilei, obwohl er das Latein, die Sprache des Mittelalters, beherrscht, in Wort und Schrift sich meist der Muttersprache bedient. Dank für dieses Unterfangen erweist ihm jedoch nur die lernbegierige Jugend, welche dem begeisterten Verkünder einer neuen Ära in Scharen zuströmt. Auch Gustav Adolf, der als Kronprinz in Italien weilte, soll sich in Padua unter seinen Zuhörern befunden haben[1]).

Wir sahen, welche Rolle Galilei in der Geschichte des Fernrohrs spielte[2]). Die Erfindung dieses Instrumentes veranlaßte ihn, sich seit dem Jahre 1609 mit großem Eifer und Erfolge astronomischen Beobachtungen zu widmen. Von besonderer Wichtigkeit war die Entdeckung, daß vier kleinere Weltkörper den Jupiter umkreisen. Dieses Gestirn mit seinen Trabanten bot ihm nämlich einen Analogiebeweis für die Richtigkeit der kopernikanischen Weltansicht. Wir haben ferner im I. Bande dieses Grundrisses den kurzen Bericht über die eigentümliche Erscheinung kennen gelernt, welche der Planet Saturn aufweist[3]). Ausführlicher hat Galilei über seine astronomischen Entdeckungen in dem „Himmelsboten"[4]) berichtet, einem Buch, das ungeheures Aufsehen erregte, aber auch eine ganze Schar von Gegnern in Bewegung setzte.

Eine weitere Stütze erhielt das kopernikanische System durch die Entdeckung, daß die Planeten, ähnlich wie der Mond, Lichtphasen aufweisen. Sie erschienen nämlich bald als leuchtende Scheiben, bald waren sie von halbkreis- oder sichelförmiger Gestalt. Letzteres war der Fall, wenn die Planeten ihre von der Sonne

---

1) Siehe Jagemann, Geschichte des Lebens und der Schriften des Galileo Galilei. Weimar 1783. Seite 52.

2) Siehe Seite 118 ds. Bds.

3) Siehe daselbst Seite 40.

4) Sidereus nuntius. Venedig 1610. Diese Schrift findet sich im dritten Bande der Albèrischen Gesamtausgabe der Werke Galileis.

beleuchtete Hälfte nicht voll dem Beschauer zukehrten. Damit war geradezu einer der Nachweise geliefert, den die Gegner des Kopernikus forderten. Die Fixsterne erschienen Galilei dagegen nur als leuchtende Punkte und sind es trotz aller Zunahme der vergrößernden Kraft der Fernröhre bis auf den heutigen Tag geblieben. Sobald Galilei indes das bewaffnete Auge auf den Himmel richtete, erkannte er, daß die Zahl der Fixsterne viele Male die Zahl der mit bloßem Auge sichtbaren Sterne übertrifft[1]). Auch die Berge des Mondes entgingen Galilei nicht; ja, er war sogar imstande, ihre Höhe aus der Länge des Schattens zu berechnen. Den Ruhm, die Sonnenflecken entdeckt zu haben, mußte er jedoch mit mehreren zeitgenössischen Astronomen teilen[2]). Die Sonnenflecken hatten sich selbst Keppler in eigentümlicher Weise bemerkbar gemacht, ohne daß er sich dabei eines Fernrohrs bedient hätte[3]). Der aus der Bewegung der Flecken gezogene Schluß, daß die Sonne sich dreht, war eine weitere Tatsache, welche zur Stütze der neuen Weltansicht herangezogen werden konnte.

Diese Fülle von Entdeckungen hatte nun zur Folge, daß die Frage nach der Richtigkeit des kopernikanischen Systems in den Mittelpunkt der Erörterung gestellt wurde. Alles, was in Italien an Frömmelei, an scholastischem Dünkel und an Neid gegen den Ruhm des großen Entdeckers herrschte, vereinigte sich, um unter dem Vorgeben, die von Kopernikus begründete und von Galilei verteidigte Lehre sei der heiligen Schrift zuwider, den großen Mann zu Fall zu bringen. Es ist dies eins der traurigsten Blätter in der Geschichte der Wissenschaften. Jene angeblich religiösen Bedenken gegen den Fortschritt der letzteren hat keiner mit solch treffenden Worten zurückgewiesen wie Galilei selbst. Es geschah dies in einem an die Großherzogin-Mutter von Toskana gerichteten Briefe, aus dem einige Stellen[4]) hier Platz finden mögen:

„Wir bringen das Neue nicht, um die Geister zu verwirren, sondern um sie aufzuklären, nicht um die Wissenschaft zu zerstören, sondern um sie wahrhaft zu begründen. Unsere Gegner aber nennen falsch und ketzerisch, was sie nicht widerlegen können,

---

1) Siehe Bd. I, Seite 40.

2) Siehe Fabricius und Scheiner.

3) Siehe weiter unten bei Keppler.

4) In der von Moritz Carriere gegebenen Übersetzung. Siehe Carriere, Die philosophische Weltanschauung der Reformationszeit. Stuttgart und Tübingen, 1847. Seite 139.

indem sie sich aus erheucheltem Religionseifer einen Schild machen und die heilige Schrift zur Dienerin ihrer Privatabsichten erniedrigen.

Wer sich an den nackten grammatischen Sinn halten wollte, würde der Bibel Widersprüche Schuld geben, wenn sie von Gottes Auge, Hand oder Zorn redet. Wenn aber solches der Fassungskraft des Volkes entsprechend vorkommt, um wieviel mehr mußte diese bei Gegenständen berücksichtigt werden, die von der Wahrnehmung der Menge weit abliegen und nicht das Seelenheil betreffen, wie es auf dem Gebiete der Naturwissenschaften der Fall ist. Hier muß man nicht mit der Autorität der Bibel beginnen, sondern mit der Wahrnehmung und dem Beweis. Da die Bibel vieles figürlich sagt, so darf das, was Wahrnehmung und Beweis uns ersichtlich machen, nicht durch solche Stellen der heiligen Schrift in Zweifel gezogen werden, die einen doppelten Sinn haben. Vor allem muß man sich der Tatsache versichern; ihr kann die Bibel nicht entgegen sein, sonst würde Gott sich selbst widersprechen. Die Bibel redet, wie das damalige Volk die Sache ansah. Hätte sie der Erde Bewegung und der Sonne Ruhe beigelegt, so würde das die Fassungskraft der Menge verwirrt haben. Wo hat aber die Bibel die neue Lehre verdammt? Man setzt das Ansehen der ersteren aufs Spiel, wenn man die Sache anders nimmt und, statt nach erwiesenen Tatsachen den Sinn der Schrift zu deuten, lieber die Natur zwingen, den Versuch leugnen, den Beweis verschmähen will.

Wollte man aber eine einzelne Einsicht verdammen und die Wissenschaft im übrigen bestehen lassen, so ließe man den Menschen die Gelegenheit, eine als falsch verdammte Ansicht als wahr bewiesen zu sehen. Das Verbieten der Wissenschaft selbst aber wäre gegen die Bibel, die an hundert Stellen lehrt, wie der Ruhm und die Größe Gottes wunderbar aus allen seinen Werken hervorleuchten und vor allem im offenen Buche des Himmels zu lesen sind. Und glaube niemand, daß das Lesen der erhabensten Gedanken, die auf diesen Blättern geschrieben stehen, damit getan sei, daß man bloß den Glanz der Sterne angafft. Da sind so tiefe Geheimnisse und so erhabene Begriffe, daß die Nachtarbeiten und Studien von hundert und aber hundert der schärfsten Geister in tausendjährigem Forschen noch nicht durchgedrungen sind und die Lust des Forschens und Findens ewig währt.“

Trotz aller Bemühungen und Vermittlungsversuche, welche Galilei zu gunsten der heliozentrischen Weltansicht unternahm,

fanden in Rom, wo man ihm anfangs geneigt war, von fanatischen Mönchen ausgehende Anschuldigungen schließlich Gehör. Im Jahre 1616 kam es zum Verbot aller Schriften, welche die Bewegung der Erde behaupteten. Das Werk des Kopernikus aber wurde einer entsprechenden Änderung unterzogen. Das bezügliche Dekret lautet: „Behaupten, die Sonne stehe unbeweglich im Mittelpunkt der Welt, ist töricht, philosophisch falsch und, weil ausdrücklich der heiligen Schrift zuwider, förmlich ketzerisch. Behaupten, die Erde stehe nicht im Mittelpunkt der Welt und habe sogar eine tägliche Umdrehung, ist philosophisch falsch und zum mindesten ein irriger Glaube.“ Die Ironie des Schicksals fügte es, daß zur selben Zeit, als Galilei vergeblich den Kampf gegen die Unwissenheit und den Autoritätsglauben führte, das heliozentrische System, dem bis dahin noch manche Unvollkommenheiten anhafteten, durch die Arbeiten Kepplers auf den Rang einer wohlbegründeten Theorie erhoben wurden.

Galilei lehrte, als das erwähnte Dekret erschien, nicht mehr in Padua. In seinem engeren Vaterlande war Kosmos II., den er als Prinzen unterrichtet hatte, zur Regierung gelangt. Dieser wünschte dem Lehrer seine Dankbarkeit zu beweisen und ihn als Zierde des eigenen Landes wirken zu sehen. Galilei ließ sich gern zur Rückkehr bewegen, da er mit seiner neuen Anstellung nicht die Verpflichtung übernahm, Vorträge zu halten, sondern ausschließlich seiner wissenschaftlichen Tätigkeit leben durfte. Länger als ein Jahrzehnt hat er diese ungestört ausüben können. Zwar starb sein hochherziger Gönner; bald darauf gestalteten sich jedoch in Rom selbst die Verhältnisse günstiger, indem mit Urban VIII. ein von regem Interesse für die astronomische Wissenschaft beseelter Mann den päpstlichen Stuhl einnahm. Urban hatte sogar Gedichte auf die Entdeckung der Jupitertrabanten verfaßt und brachte Galilei großes Wohlwollen entgegen. Alle Bemühungen des letzteren, den Papst von der Richtigkeit der kopernikanischen Lehre zu überzeugen und eine Zurücknahme der kirchlichen Entscheidung vom Jahre 1616 herbeizuführen, waren jedoch vergeblich.

Unterdessen schrieb Galilei in der Stille seines Landhauses den „Dialog über die beiden hauptsächlichsten Weltsysteme“, welcher die glänzendste Verteidigung der kopernikanischen Lehre darstellt[1]).

---

1) Dialog über die beiden hauptsächlichsten Weltsysteme, das Ptolemäische und das Kopernikanische, von Galileo Galilei. Aus dem Italienischen über-

Ein wichtiger, zur Einführung in dieses Werk geeigneter Abschnitt, der von der Rotation der Erde handelt und mit schlagenden Gründen die ptolemäische Ansicht von der täglichen Drehung der Fixsternsphäre widerlegt, wurde bereits im I. Bande mitgeteilt[1]).

Bezüglich der Entstehung des Sonnensystems hatte Galilei sich eine Ansicht gebildet, welche der heutigen, auf Laplace und Kant zurückzuführenden Anschauung, nach welchen die Planeten aus der Sonne hervorgegangen sind, gerade entgegengesetzt war. Galilei stellt sich vor, der göttliche Baumeister habe zuerst die Sonne gebildet und ihr einen festen Platz verliehen. Dann seien aus der Hand des Schöpfers die Planeten hervorgegangen. Diese hätten sich von dem Orte ihrer Entstehung mit wachsender Geschwindigkeit nach der Sonne hinbewegt. Dann seien sie, wiederum durch göttlichen Eingriff, an einem bestimmten Punkte mit der bis dahin erlangten Geschwindigkeit aus der Fall- in eine Drehbewegung versetzt worden. Nach Galilei sind zum Beispiel Jupiter und Saturn von demselben Punkte nach der Sonne hingefallen. Da Jupiter tiefer fiel, erlangte er eine größere Geschwindigkeit, mit welcher er sich jetzt innerhalb der Bahn des langsamer umlaufenden Saturns um die Sonne bewegt[2]).

Für die gleichartige Natur der Erde und der Himmelskörper führt Galilei besonders die Gebirge des Mondes ins Feld. Sind doch die Gestirne nach der neuen Lehre Erden wie unsere Erde, während sie vorher, wenn auch nicht mehr als göttliche, so doch als engelartige Wesen gegolten hatten. In dieser Versetzung der Erde unter die Sterne, unter Aufgebung des anthropozentrischen Standpunktes, liegt eben das Revolutionierende, die befangene Menge Aufregende der neuen Weltanschauung.

Mit dem Verbot vom Jahre 1616 sucht sich der Verfasser des Dialoges dadurch abzufinden, daß er die Lehre des Kopernikus nicht als seine eigene Meinung vorträgt, sondern sie einer der sich unterredenden Personen, dem Salviati, in den Mund legt, während das ptolemäische System von Simplicio verteidigt wird. Jeder Einsichtige konnte indessen leicht erkennen, daß der Verfasser selbst mit Salviati gleichzusetzen sei. Trotzdem erteilte die römische Zensurbehörde, nachdem einige von ihr gewünschte

---

setzt und erläutert von Emil Strauss. Leipzig, B. G. Teubner 1891. Der Titel des Originals lautet: Dialogo di Galileo Galilei sopra i due massimi sistemi del mondo, Ptolemaico e Copernicano. MDCXXXII.

1) Bd. I, Seite 34 ff.

2) Siehe die Ausführungen Salviatis im 4. Tage des Dialogs.

Änderungen vorgenommen waren, die Erlaubnis zum Druck des Buches, das im Jahre 1632 erschien und großes Aufsehen erregte, aber auch die Tätigkeit der Feinde und Neider von neuem wachrief. Insbesondere war es der Jesuit Scheiner, mit welchem Galilei einen Prioritätsstreit hinsichtlich der Entdeckung der Sonnenflecke ausgefochten hatte, der gegen den Verfasser des Dialogs mit allen Mitteln zu Felde zog und die Angelegenheit vor das Forum der Inquisition zu bringen suchte. Die freundliche Gesinnung, welche Papst Urban VIII. bisher gegen Galilei bewiesen, verstand man in das Gegenteil zu verkehren. Man redete dem Papste nämlich ein, in Simplicio, dem ungeschickten Verteidiger der ptolemäischen Ansicht, habe man ihn selbst zu karrikieren gesucht.

Es würde hier zu weit führen und unserem Zwecke nicht entsprechen, wenn wir uns mit den Einzelheiten des gegen Galilei in Scene gesetzten Inquisitionsprozesses befassen wollten[1]). Der siebzigjährige, durch Krankheit gebeugte Greis, dem sein Vaterland unsterblichen Ruhm verdankt, wurde unter der Androhung, ihn in Eisen fortschaffen zu lassen, gezwungen, nach Rom zu reisen. Dort angelangt, mußte das weitere Verfahren ihn bald davon überzeugen, daß es hier nur zwei Möglichkeiten gab. Entweder er teilte das Schicksal Giordano Brunos, welcher im Jahre 1600 in Rom den Scheiterhaufen bestiegen hatte; oder er tat das, was Bruno zu tun sich geweigert: er widerrief den Inhalt seines ganzen bisherigen Forschens und Denkens, indem er nach der Forderung der Inquisition die Lehre des Kopernikus als irrtümlich abschwor und verfluchte. Galilei wählte den letzeren Weg. Er beugte sich dem Zwange. Auch mochte ihn die Überzeugung leiten, daß der Märtyrertod ebensowenig der Wissenschaft wie der Kirche zum Vorteil gereichen könnte. Die Abschwörungsformel, welche er nach Androhung der Tortur, unter schmachvollen Formen — er war nur mit einem Hemde bekleidet — aussprechen mußte, bildete das unwürdigste Gegenstück zu den schönen Worten, mit denen er selbst in dem oben mitgeteilten Briefe Duldsamkeit gepredigt.

---

1) Es sei verwiesen auf Gebler, Galileo Galilei und die Römische Curie. Nach authentischen Quellen dargestellt. Stuttgart 1876—1880, sowie auf Wohlwill, der Inquisitionsprozeß des Galileo Galilei. Berlin 1870. Eine neuere Biographie enthält der 22. Band von Bettelheims „Geisteshelden“: S. Günther, Kepler und Galilei. Berlin 1896.

Das Galilei zugeschriebene Wort: „Und sie bewegt sich doch“ ist gewiß nicht bei diesem Anlaß gesprochen worden[1]). Daß es jedoch im Grunde seines Herzens erklungen, wer möchte daran zweifeln? Die Jahre, welche Galilei nach diesen traurigen Ereignissen noch gelebt hat, waren voll von Bitternissen. Die Inquisition wies ihm sein Landhaus als Wohnsitz an, doch erstreckte sie ihre Überwachung auf seine privatesten Angelegenheiten, so daß er, wenn auch nicht dem Namen nach, so doch tatsächlich ihr Gefangener blieb. In seinen Wunsch, nach Florenz übersiedeln zu dürfen, willigte man erst, nachdem sein Augenleiden zu völliger Erblindung geführt hatte. Dennoch war die Schaffenskraft Galileis, welcher in steigendem Maße, trotz seiner Niederlage in dem Inquisitionsprozeß, die Bewunderung der Zeitgenossen errang, keineswegs gelähmt. Zwar beschäftigten ihn nach seiner Verurteilung von astronomischen Problemen nur noch solche, bei denen keine Erneuerung des Streites mit der römischen Kirche zu befürchten war. So fuhr er ungeachtet seines beginnenden Augenleidens mit teleskopischen Untersuchungen fort und entdeckte die Libration des Mondes[2]). Auch das Problem der Längenbestimmung, an welchem alle Schiffahrt treibenden Nationen das größte Interesse hatten, beschäftigte Galilei von neuem. Sein Lieblingsplan, die Verfinsterungen der Jupitertabanten zu diesem Zwecke zu verwerten, wurde, nachdem er fast zwei Jahrzehnte geruht hatte[3]), wieder hervorgezogen. Im Grunde war es derselbe Gedanke,

[1]) Siehe auch G. Bertholds in der Zeitschrift für Geschichte der Mathematik (1897) erschienene Notiz: Über den angeblichen Ausspruch Galileis „Eppur si muove“.

[2]) Galileis Brief über seine Entdeckung der Libration datiert vom 20. Februar 1637. Unter Libration versteht man kleine Schwankungen des Mondes in seiner Stellung zur Erde, welche bewirken, daß, vom Erdmittelpunkte aus betrachtet, nicht stets derselbe Punkt der Mondoberfläche im Zentrum der Mondscheibe erscheint. Man unterscheidet Libration in Länge (in der Ebene des Mondäquators) und Libration in Breite (senkrecht zur Ebene des Mondäquators). Aber auch abgesehen von derartigen Schwankungen, wird die Mondscheibe, von verschiedenen Punkten der Erdoberfläche aus beobachtet oder für denselben Ort zu verschiedenen Tageszeiten, nicht genau dieselbe sein. Es ist dies eine nur scheinbare, parallaktisch genannte Libration. Galilei wies auf letztere hin und entdeckte die Libration in Breite. Die Libration in Länge bemerkte erst Hevel, der bedeutendste Selenograph der neueren Zeit (Hevels Selenographie, Danzig 1647).

[3]) Er hatte sich deswegen 1616 mit Philipp III. von Spanien vergeblich in Verbindung gesetzt (S. Jagemann, Geschichte des Lebens und der Schriften des G. Galilei. 1873. S. 146).

welcher schon die Alten bei ihren Längenbestimmungen leitete. Periodisch wiederkehrende Himmelsereignisse, die von einem großen Teile der Erde gesehen werden, bieten in beiden Fällen einen Anhalt zur Ermittelung des Zeitunterschiedes für den in Betracht kommenden und einen seiner geographischen Länge nach bestimmten Ort. Im Altertum hatte man sich hierzu des Eintritts der Mondfinsternisse bedient. Doch ist ein solches Ereignis so selten, daß es für die Schiffahrt nicht in Betracht kommen kann. Die Umlaufszeiten der Jupitermonde sind dagegen von so kurzer Dauer, daß fast in jeder Nacht einer derselben durch den Zentralkörper verfinstert wird. Ist nun, schloß Galilei, die Umlaufsbewegung der Monde genau bekannt und in Tabellen für den täglichen Gebrauch der Seefahrer niedergelegt, so stellt das System des Jupiters sozusagen eine im Weltraum schwebende, der Beobachtung durch gute Teleskope zugängliche Uhr dar, aus deren Vergleich mit einer nach der Sonne gestellten Uhr der Längenunterschied zwischen dem Ort, auf welchen die Tabellen sich beziehen und demjenigen, an welchem sich das Schiff befindet, gefunden werden kann. Galilei wußte für seine Methode die vereinigten Staaten von Holland zu interessieren und stellte ihnen Ephemeriden der Jupitertrabanten, sowie hinlänglich genau gehende Uhren in Aussicht. Zunehmendes körperliches Leiden brachte jedoch seine Bemühungen, die auch ohnehin schwerlich zu einem Gelingen geführt haben würden, zum Stillstande. Erst im 18. Jahrhundert waren Theorie und Praxis weit genug fortgeschritten, um die Mittel zur Lösung des so überaus schwierigen Problems an die Hand zu geben.

Wir gelangen jetzt zu Galileis Arbeiten auf dem Gebiete der Mechanik. Diese Arbeiten waren in solchem Maße grundlegend, daß Galilei in seinem Hauptwerk über diesen Gegenstand, den „Unterredungen“, mit Recht von neuen Wissenszweigen sprechen konnte. Die Zeitgenossen zwar, soweit sie nicht vom Fanatismus geblendet waren, bewunderten vorwiegend seine Leistungen auf astronomischem Gebiete. Die Nachwelt hat jedoch erkannt, daß die Begründung des dynamischen Teiles der Mechanik eine Geistestat von weit höherem Range und weit größerer Bedeutung für den Fortschritt der menschlichen Erkenntnis war als jene Beobachtungen, von denen, ohne das Verdienst Galileis zu schmälern, gesagt werden kann, daß sie jedes andere mit einem guten Fernrohr bewaffnete Auge gleichfalls gemacht haben würde.

Mit mechanischen Problemen hatte sich Galilei, anknüpfend an Archimedes und im Kampfe gegen die irrigen Ansichten der Peripatetiker, während seiner ganzen Laufbahn beschäftigt. Nach seiner Verurteilung unternahm er es, die Ergebnisse seiner Forschungen zu dem genannten Hauptwerk[1]) zusammenzufassen. Bei dieser Arbeit hatte er wenigstens keine Belästigung von seiten kurzsichtiger Gegner zu befürchten. Wir haben im I. Bande dieses Grundrisses Galilei selbst die peripatetischen Ansichten über den Fall der Körper widerlegen und richtige an deren Stelle setzen sehen[2]). Jetzt werden wir uns mit den Prinzipien, welche durch ihn in die Naturwissenschaft eingeführt wurden, etwas eingehender zu befassen haben. Sie betreffen vor allem die Dynamik oder die Lehre von der Bewegung der Körper, deren Ansätze wir bereits bei Leonardo da Vinci und einigen anderen Forschern vorfanden[3]). Durch seine Untersuchung des Falles, der Wurf- und der Pendelbewegung zeigte Galilei, wie durch Vereinigung von messender Beobachtung mit mathematischem Beweisverfahren an die Stelle unklarer schwankender Begriffe wissenschaftliche Erkenntnis gesetzt werden kann. Er schuf so die Methode, welche auf naturwissenschaftlichem Gebiete allein zur Entdeckung der Wahrheit führt und der im weiteren Verfolg alle bewundernswerten Resultate der neueren Zeit zu verdanken sind.

„Der bisherigen oberflächlichen Beobachtung ist es zwar nicht entgangen, daß die Geschwindigkeit frei fallender Körper mit der Fallzeit zunimmt. In welchem Maße aber die Beschleunigung stattfindet, ist bisher nicht ausgesprochen worden, denn soviel ich weiß, hat niemand bewiesen, daß die vom fallenden Körper in gleichen Zeiten zurückgelegten Strecken sich zueinander wie die ungeraden Zahlen verhalten." Mit diesen Worten leitet Galilei den dritten Abschnitt[4]) seiner „Unterredungen" ein. „Man hat beobachtet", fährt er fort, „daß die Wurfgeschosse eine gewisse Kurve beschreiben, daß letztere aber eine Parabel ist, hat niemand

---

1) Unterredungen und mathematische Demonstrationen über zwei neue Wissenszweige von Galileo Galilei. Aus dem Italienischen übersetzt und herausgegeben von A. v. Oettingen. Leipzig. Verlag von Wilhelm Engelmann 1890 (Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften Nr. 11). Der Originaltitel lautet: Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze. Leyden 1638.

2) Siehe Bd. I, Seite 41 u. f.

3) Siehe Seite 103 ds. Bds.

4) Ostwalds Klassiker Nr. 24, Seite 3.

gelehrt. Daß aber dieses sich so verhält und noch vieles andere nicht minder Wissenswerte, soll von mir bewiesen werden. Zu dem, was noch zu tun übrig bleibt, wird die Bahn geebnet, nämlich zur Errichtung einer sehr weiten außerordentlich wichtigen Wissenschaft, deren Anfangsgründe die vorliegende Arbeit bieten soll, in deren tiefere Geheimnisse einzudringen aber solchen Geistern vorbehalten bleibt, die mir überlegen sind.“ In diesen Worten sprechen sich zwei schöne Charaktereigenschaften Galileis aus, Wertschätzung eigener Errungenschaften gepaart mit wahrer Bescheidenheit.

Wir wollen jetzt die wesentlichsten Punkte der „Unterredungen“ einer kurzen Betrachtung unterziehen. Die Peripatetiker hatten eine Reihe von Naturerscheinungen, wie das Saugen, das Aneinanderhaften glatter Platten, das Aufsteigen von Flüssigkeiten in der Pumpe u. s. w., auf ein Widerstreben der Natur, einen leeren Raum oder ein Vakuum zuzulassen, zurückgeführt. In Ermangelung eines mechanischen Prinzipes wollte man auf solche Weise der Natur ein psychisches Vermögen andichten. In dieser Vakuumtheorie bleibt Galilei noch befangen; aus ihr sucht er z. B. die Kohäsion zu erklären. Ein wesentlicher Fortschritt den bloßen Spekulationen seiner Vorgänger gegenüber ist es jedoch, daß er das Experiment auf dieses Gebiet anwendet und die Größe desjenigen Widerstandes, welchen das Vakuum bietet, zu bestimmen sucht. Dies geschieht, indem ein Kolben aus einem mit Wasser gefüllten, die Öffnung nach unten kehrenden Cylinder herausgezogen und die Größe des hierzu erforderlichen Gewichtes ermittelt wird (siehe Abb. 13). Ferner kennt Galilei die Erscheinung, daß das Wasser mittelst Pumpen nur auf eine Höhe von 18 italienischen Ellen gehoben werden kann. Tatsächlich wird in beiden Fällen bekanntlich die Größe des Luftdrucks gemessen. Durch Versuche gewonnene Ergebnisse besitzen also immer Wert, gleichgültig, ob die daran geknüpfte Theorie sie richtig deutet oder nicht.

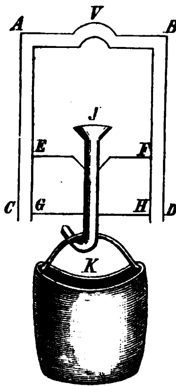


Abb. 13. Galileis Versuch, den Widerstand des Vakuums zu messen[1]).

Daß Galilei das Steigen von Flüssigkeiten und verwandte Erscheinungen nicht auf den Luftdruck zurückführte, ist um so

[1]) Ostwalds Klassiker Nr. 11, Fig. 4.

verwunderlicher, als ihm die Tatsache, daß die Luft Gewicht besitzt, wohl bekannt war. Aristoteles hatte der Luft und dem Feuer absolute Leichtigkeit, d. h. das Bestreben, sich in gerader Richtung vom Mittelpunkt der Erde fortzubewegen, zugeschrieben. Wäre diese Annahme richtig, so würde, wie Galilei anführt[1]), daraus folgen, daß beim Verdichten der Luft die Leichtigkeit und damit das Streben nach oben zunehme. Der Versuch lehrte indes das Gegenteil. Galilei nahm einen Glaskolben und preßte mittelst einer Spritze eine große Menge Luft hinein. Dann wurde der Ballon auf einer genauen Wage ins Gleichgewicht gebracht. Öffnete man ihn jetzt, so trat die zusammengepreßte Luft heraus und der Ballon wurde merklich leichter, so daß von der Tara etwas fortgenommen werden mußte, um das Gleichgewicht wieder herzustellen. „Unzweifelhaft ist das Gewicht des Fortgenommenen", sagt Galilei[2]), „genau gleich dem der Luft, die gewaltsam hineingepreßt war."

Hatte man einmal die Luft als einen schweren Körper erkannt, so lag nichts näher als die Frage, wie groß ihr Gewicht im Verhältnis zu demjenigen anderer Naturkörper, z. B. dem des Wassers, sei. Auch diese Aufgabe, das spezifische Gewicht der Luft zu bestimmen, löste Galilei durch einen höchst sinnreichen Versuch. Er preßte Wasser in einen mit Luft gefüllten Kolben, bis er zu $^3/_4$ seines Inhalts damit angefüllt war, ohne daß jedoch die Luft entweichen konnte. Das Gewicht dieses Kolbens mit seinem Inhalt wurde bestimmt. Darauf wurde eine die komprimierte Luft abschließende Haut durchstochen, um diejenige Luftmenge, welche vorher $^3/_4$ des Kolbens einnahm, entweichen zu lassen. Galilei wog jetzt wieder und fand einen dem Gewichte jener Luftmenge entsprechenden Unterschied. War diese Bestimmung bei den damaligen Hilfsmitteln und den der Methode anhaftenden Unvollkommenheiten auch nicht eine genaue zu nennen, so ergab sich doch, daß die Luft sehr viel leichter als das Wasser ist[3])
Daß Galilei trotz dieser Kenntnisse von der Natur der Luft doch bei der Vakuumtheorie beharrte, zeigt uns, wie wir so oft aus der Geschichte der Wissenschaften erkennen, daß auch ein solcher Geist sich nicht immer von vorgefaßten Meinungen zu befreien vermag.

---

1) Ostwalds Klassiker Nr. 11, Seite 70.

2) A. a. O. Seite 71.

3) Galilei gibt nämlich an (Ostwalds Klassiker Nr. 11, Seite 72), sie sei gegen 400 mal leichter, während sie tatsächlich etwa 800 mal so leicht ist.

Größeres als in der Physik der gasförmigen Körper, deren experimenteller Ausbau insbesondere auf deutschem Boden durch Otto von Guericke erfolgte, hat Galilei dadurch geleistet, daß er den Begriff der gleichförmig beschleunigten Bewegung erörterte und durch Versuche nachwies, daß der Fall über die schiefe Ebene eine derartige Bewegung sei. Die Größe der Beschleunigung für den freien Fall zu bestimmen, vermochte er allerdings noch nicht. Erst Huygens stellte fest, daß der Geschwindigkeitszuwachs 10 m beträgt, so daß ein Körper nach Ablauf der 1. 2. 3. . . . Sekunde eine Geschwindigkeit von 10, 20, 30 . . . Metern besitzt. Solche Größen ließen sich durch die unmittelbare Beobachtung nicht gut ermitteln. Galilei wählte für seine Fallversuche die schiefe Ebene und gibt uns über die Ausführung und die erhaltenen Resultate folgenden Bericht[1]): In einem Brett von 12 Ellen Länge befand sich eine Rinne von einem halben Zoll Breite. Diese war gerade gezogen und mit sehr glattem Pergament ausgekleidet. Das Brett wurde an dem einen Ende gehoben, bald eine, bald zwei Ellen hoch. Sodann ließ Galilei eine glattpolierte Messingkugel durch die Rinne laufen und bestimmte die Fallzeit für die ganze Länge der Rinne. Jeder einzelne Versuch wurde zur genauen Ermittlung der Zeit häufig wiederholt. Es ergaben sich gar keine Unterschiede. Ließ man dagegen die Kugel nur durch $^1/_4$ der Strecke laufen, so erforderte dies genau die halbe Zeit. Die Strecken verhielten sich somit wie 1 : 4, wenn die Fallzeiten in dem Verhältnis 1 : 2 standen; oder, anders ausgedrückt, die Strecken verhielten sich wie die Quadrate der Zeiten ($1 : 4 = 1^2 : 2^2$). Daß dieses Gesetz nicht nur in dem gewählten Beispiel seine Richtigkeit hat, sondern eine für alle Fälle zutreffende Regel ist, wurde durch hundertfache Wiederholung unter jedesmaliger Abänderung der Strecke und des Neigungswinkels dargetan.

Zur genauen Bestimmung der Fallzeit diente dabei folgende Vorrichtung. Ein größeres Gefäß war mit Wasser gefüllt und besaß einen engen Kanal im Boden, durch den sich ein feiner Strahl ergoß. Dieser wurde während jeder beobachteten Zeit in ein kleineres Gefäß geleitet. Die auf solche Weise aufgefangene Flüssigkeitsmenge wog man auf einer sehr genauen Wage. Aus den Differenzen der Wägungen ergab sich das Verhältnis der Gewichte, welches dem Verhältnis der Zeiten mit solcher Genauigkeit

---

1) Ostwalds Klassiker Nr. 24, Seite 25.

entsprach, daß die zahlreichen Beobachtungen niemals merklich voneinander abwichen.

Wir haben Galileis Versuchen mit der schiefen Ebene eine etwas größere Ausführlichkeit gewidmet, weil sie eine der ersten, folgerichtig bis zur Auffindung des Naturgesetzes durchgeführten Versuchsreihen darstellen, sowie einen lehrreichen Einblick in die Art des induktiven Verfahrens gewähren. Wir wollen in Nachstehendem die leitenden Gedanken und die Versuche kennen lernen, welche denselben Forscher zur Erklärung der Pendel- und Wurfbewegung geführt haben, und uns dabei eng an die von ihm selbst gegebene Darstellung anschließen.

Galilei hatte bei der Anwendung der schiefen Ebene neben der Verringerung der Beschleunigung auch das Ziel im Auge, den Widerstand des Mittels zu vermindern. Läßt man nämlich zwei an Gewicht sehr verschiedene Körper fallen, etwa eine Kork- und eine Bleikugel, so wird die Luft, welche stets geöffnet und zur Seite geschoben werden muß, einen größeren Einfluß auf den leichten Körper ausüben als auf den mit einem heftigeren Antrieb begabten schweren, und der erstere wird infolgedessen zurückbleiben[1]).

Wurde nun der Widerstand des Mittels durch die Verlangsamung, welche der Fall beim Gebrauch der schiefen Ebene erfährt, hinreichend vermindert, so ließ sich doch nicht verkennen, daß durch die Berührung mit dieser Ebene ein neuer Widerstand gegeben war. Gab es nun ein Mittel, auch den Einfluß dieses Widerstandes zu verringern, beziehungsweise ihn ganz zu beseitigen? Das letztere wurde erreicht, indem man die Kork- sowie die Bleikugel an zwei gleichen feinen Fäden von 4—5 Ellen Länge aufhing. Entfernte man dann beide Körper aus der Ruhelage und ließ sie gleichzeitig los, so wurden Kreisbögen von gleichen Halbmessern beschrieben. Die Kugeln schwangen über ihre ursprüngliche Lage hinaus und kehrten auf denselben Wegen zurück. Nachdem sie wohl 100 mal hin- und hergegangen waren, zeigte sich deutlich, daß die Bewegung des schwereren Körpers so sehr mit derjenigen des leichteren übereinstimmte, daß nicht die geringste Verschiedenheit zu bemerken war. Die Pendelbewegung stellte sich somit als eine Fallbewegung dar, bei welcher der Widerstand des Mittels sehr eingeschränkt und der bei einer geneigten Ebene vorhandene Reibungswiderstand gänzlich vermieden ist.

---

[1]) Ostwalds Klassiker Nr. 11, Seite 74.

Noch eine weitere Ähnlichkeit zwischen der Pendelbewegung und dem Fall über die schiefe Ebene ließ sich erkennen. Galilei hatte gezeigt[1]), daß ein Körper, welcher längs der zu einem beliebigen Bogen gehörenden Sehne herabfällt, z. B. von A, B, C, D oder E nach F, die gleiche Zeit gebraucht, betrage der entsprechende Bogen volle 180° oder weniger. Auch für das Pendel ergab sich, daß es, um den Punkt A schwingend, in der gleichen Zeit, in welcher es den Weg $E_1 F_1$, der Sehne EF entsprechend, zurücklegt, bei größerem Ausschlage die Strecke $D_1 F$, entsprechend der Sehne DF, durchfallen wird. Hatte man z. B. das Bleipendel um 50° von dem Lote entfernt[2]) und ließ es frei schwingen, so beschrieb es jenseits des Lotes gleichfalls nahezu 50°, im ganzen also 100°. Zurückkehrend, beschrieb es einen etwas kleineren Bogen und gelangte nach einer großen Anzahl von Schwingungen endlich zur Ruhe. Jede dieser Schwingungen kam in einer sich stets gleich bleibenden Zeit zu stande, sowohl die von 90° Ausschlag, wie diejenige von 50, 20, 10 oder 4°. Die Geschwindigkeit mußte also allmählich abnehmen, da in gleichen Zeiten immer kleinere Bögen beschrieben wurden. Ganz denselben Vorgang nahm Galilei bei der Korkkugel wahr, wenn er sie an einem ebenso langen Faden befestigte, nur daß diese nach einer kleineren Zahl von Schwingungen zur Ruhe kam. Alle geschahen in gleichen Zeiten, und zwar in derselben Zeit wie diejenigen der Bleikugel.

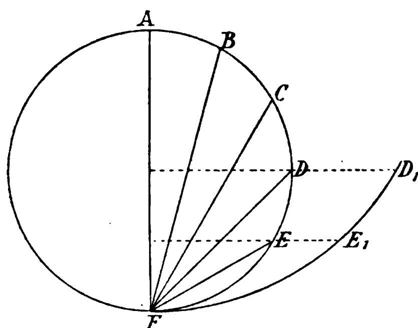


Abb. 14. Zur Erklärung der Isochronie der Pendelschwingungen.

Für größere Ausschläge des Pendels besitzt, wie man später erkannte, dieses Gesetz nicht mehr volle Gültigkeit, da der Kreisbogen keine Isochrone, d. h. Kurve gleicher Schwingungsdauer, ist. Huygens wies später nach, daß dieses für die Cykloide zutrifft. Da die Krümmung beider Kurven in der Nähe der Ruhelage F jedoch (siehe Abb. 15) nahezu gleich ist, so gilt das Gesetz von der Isochronie der Pendelschwingungen für kleine

[1]) Ostwalds Klassiker Nr. 24, Seite 35.
[2]) Ostwalds Klassiker Nr. 11, Seite 75.

Ausschlagswinkel mit hinreichender Genauigkeit. Auffallend bleibt es allerdings, daß Galilei den bei größeren Winkeln eintretenden Unterschied übersah. Es geschah dies wohl daher, weil er ihn allein auf den wachsenden Widerstand des Mediums bei der schnelleren Bewegung durch einen größeren Kreisbogen zurückführte. Überhaupt beschränkt sich Galilei vorwiegend auf die experimentelle Erforschung der Pendelbewegung, während ihre mathematische Analyse späteren Jahrzehnten vorbehalten blieb. Wieder war es Huygens, dem wir die Formel für diese Bewegung, sowie die Verwendung des Pendels in den Uhren verdanken. Die Idee, das Pendel zur Zeitmessung zu verwenden, ist Galilei indessen auch schon gekommen. Ja, er hat seinem Sohne und seinem hervorragendsten Schüler Viviani, wie aus dessen Aufzeichnungen hervorgeht, schon die Konstruktion einer Pendeluhr entwickelt. Aber auch Viviani wurde durch seinen plötzlich erfolgten Tod an der Ausführung des Gedankens verhindert[1]). Galilei dehnte seine Untersuchungen auch auf Pendel verschiedener Länge aus und fand, daß ein Pendel, um doppelt so langsam zu schwingen wie ein anderes, viermal so lang sein muß, während der neunfachen Länge eine dreimal so große Schwingungszeit entspricht, so daß sich also die Pendellängen wie die Quadrate der entsprechenden Schwingungszeiten verhalten[2]).

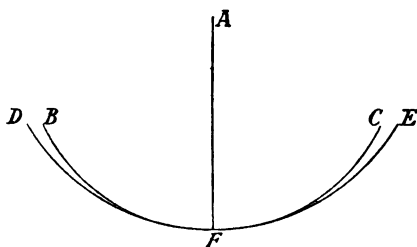


Abb. 15. Kreis und Cykloide als Bahnen des schwingenden Körpers.

Nachdem die Pendelbewegung als eine besondere Art der Fallbewegung erkannt war, ergab sich dem Scharfsinn Galileis dasselbe für den Wurf. Bezüglich dieses Vorgangs war die bloße Spekulation zu den ungereimtesten Ansichten gelangt. Einige Klarheit findet sich zwar schon bei den Vorläufern Galileis[3]); letzterem blieb es jedoch vorbehalten, auf Grund der von ihm erkannten Prinzipien eine wahre und erschöpfende Analyse der Wurfbewegung zu geben. Es war dies zunächst das Prinzip der Trägheit oder

1) Näheres siehe bei Gerland und Traumüller, Geschichte der physikalischen Experimentierkunst, Leipzig 1899, Seite 120 u. f.

2) Ostwalds Klassiker Nr. 11, Seite 84.

3) Siehe Seite 103 ds. Bds.

des Beharrungsvermögens, nach welchem die Bewegung auf einer unbegrenzten horizontalen Ebene sich bewegender Körper, wenn alle Widerstände ausgeschlossen sind, gleichförmig ist und unaufhörlich fortbesteht[1]). Wird dann, so lautet das zweite Prinzip, ein solcher Körper einer Kraft unterworfen, so setzt sich die neue Bewegung, welche aus der Wirkung dieser Kraft hervorgeht, mit der ersten schon bestehenden zusammen. Ist z. B. die horizontale Ebene, auf welcher der Körper sich dem Gesetze der Trägheit zufolge fortbewegt, nicht unendlich, sondern begrenzt und ist der Körper schwer, so wird er, am Ende der Horizontalen angelangt, sich zwar weiter bewegen, zu seiner gleichförmigen, unzerstörbaren Bewegung gesellt sich indes die durch die Schwerkraft erzeugte, so daß eine zusammengesetzte Bewegung entsteht. Solcher Art nun ist die Wurfbewegung. Der Körper wird eine Bahn von stetiger Krümmung, und zwar, wie sich leicht zeigen läßt, eine Halbparabel beschreiben. Es sei nämlich[2]) die horizontale Ebene, längs welcher der Körper sich gleichförmig fortbewegt, A B. Am Ende B der Ebene fehlt die Stütze, und der Körper unterliegt infolge seiner Schwere einer Bewegung längs der Senkrechten BN. Man denke sich A B nach E hin fortgesetzt und teile gewisse gleiche Strecken BC, CD, DE darauf ab. Gelangt der Körper infolge seiner gleichförmigen Bewegung nach C, so denken wir uns das durch den Fall bedingte Stück CJ hinzugefügt. Der Körper wird sich somit nach Ablauf derjenigen Zeit, welche der Bewegung von B nach C entspricht, im Punkte J befinden. Während der Körper infolge der gleichförmigen Bewegung von C nach D gelangt, also dasselbe Stück zurücklegt wie vorher, ist die Fallstrecke gleich 3 C J oder der Gesamtfallraum D F = 4 C J. Hat endlich nach Ablauf des dritten Zeitteils der Körper infolge der gleichförmigen Bewegung die dreifache Strecke BE zurückgelegt, so würde ihn der

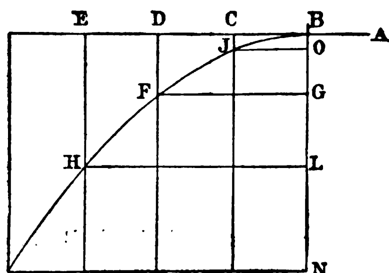


Abb. 16. Galileis Darstellung der Wurfbewegung.

1) Näheres über die Entdeckung dieses Prinzips siehe bei E. Wohlwill, Die Entdeckung des Beharrungsgesetzes (Zeitschrift für Völkerpsychologie und Sprachwissenschaft. Bd. XIV und XV).

2) Galileis Unterredungen und mathematische Demonstrationen. Siehe Ostwalds Klassiker Nr. 24. Fig. 108.

Fall von B nach L geführt haben, welche Strecke das Neunfache von CJ ist u. s. f. Nun verhalten sich die Quadrate von BC, BD, und BE, welche Stücke wir als die Ordinaten der Kurvenpunkte J, F und H bezeichnen wollen, wie die Strecken CJ, DF und EH, nämlich wie 1 : 4 : 9. Diese Strecken CJ, DF und EH nennt man die Abscissen der Punkte J, F und H. Die analytische Geometrie lehrt nun, daß alle Punkte, deren Abscissen sich verhalten wie die Quadrate der zugehörigen Ordinaten, einer Parabel angehören[1]).

Wir haben hiermit die Art der Behandlung, welche Galilei den Problemen der Mechanik angedeihen ließ, hinreichend kennen gelernt und werden ihm die Berechtigung, von neuen Wissenszweigen zu sprechen, voll zugestehen müssen. Durchdrungen von der Bedeutung des erschlossenen, auf der innigen Verknüpfung des Versuchs mit der mathematischen Ableitung beruhenden neuen Weges, ruft er am Schlusse seines dritten Gespräches aus[2]): „Die in dieser kurzen Abhandlung vorgeführten Sätze werden, wenn sie in die Hände anderer denkenden Forscher gelangen, immer wieder zu neuen, wunderbaren Erkenntnissen führen; und es wäre denkbar, daß in solcher Weise eine würdevolle Behandlung sich allmählich auf alle Gebiete der Natur erstreckte.“ Diese Vorahnung sollte schon ein Menschenalter nach Galileis Hinscheiden durch die Taten eines Newton, Huygens und anderer Forscher der Erfüllung nahe gebracht werden.

Galilei war nach den Berichten seiner Zeitgenossen groß, stark gebaut und von ehrwürdigem Aussehen. (Siehe das Titelbild.) Die Stirn war hoch und die Augen voll Feuer, seine Rede angenehm und ausdrucksvoll. Dabei war er kein einseitiger Gelehrter. Die Erholungsstunden widmete er der Musik und Malerei, selbst einige Sonette sind von ihm vorhanden. Diese künstlerische Beanlagung Galileis kam in seinen Schriften dadurch zum Ausdruck, daß diese neben ihrer wissenschaftlichen Bedeutung sprachlich zu dem Vollendetsten gehören, was die italienische Literatur des 17. Jahrhunderts hervorgebracht hat. Gelehrte Unterhaltungen führte Galilei nur mit seinen Freunden; suchten Unberufene ihn in solche hineinzuziehen, so wußte er stets geschickt abzulenken.

---

1) Der analytische Ausdruck für diese Kurve lautet: $y^2 = 2\,px$. Für zwei Punkte $x_{,}y_{,}$ und $x_{,,}y_{,,}$ erhalten wir $y_{,}^2 = 2\,px_{,}$ und $y_{,,}^2 = 2\,px_{,,}$. Die Division der beiden Gleichungen ergibt das oben ausgesprochene Gesetz: $x_{,} : x_{,,} = y_{,}^2 : y_{,,}^2$.

2) Ostwalds Klassiker Nr. 24, Seite 80.

Die gegen ihn gerichteten Verfolgungeu setzten sich bis über das Grab hinaus fort. Sogar das letztere selbst wurde ihm streitig gemacht. Erst ein Jahrhundert nach Galileis Tode wurde seinem letzten Wunsche gewillfahrt, indem man die irdischen Überreste des großen Forschers in der Kirche Santa Croce zu Florenz bestattete. Ein prächtiges Denkmal schmückt jetzt diesen Ort. Von gleicher Tragik war das Geschick der handschriftlichen Hinterlassenschaft Galileis. Von seinem Sohne sehr vernachlässigt, von einem Enkel in einer skrupulösen Anwandlung zum Teil verbrannt, gelangte sie endlich in die Hände Vivianis, der Galilei die letzten traurigen Lebensjahre ertragen geholfen. Vivianis Absicht, diese Geistesschätze durch eine Herausgabe zu heben, wurde jedoch vereitelt. In Florenz, wo mit dem Enkel desjenigen Mediceers, der Galilei in seinem Lande eine Ehrenstätte bereitet hatte, Andächtelei und Pfaffenherrschaft den Thron bestiegen, war der Name des großen Mannes geradezu verhaßt geworden. Viviani sah sich schließlich in der Furcht, daß ihm auf obrigkeitlichen Befehl die Schriften abgenommen werden könnten, genötigt, letztere einem Verstecke anzuvertrauen. Erst im nachfolgenden Jahrhundert wurden sie wieder entdeckt und sollten schon als Makulatur in die Hände eines Krämers wandern, als man noch rechtzeitig ihren Wert erkannte und wenigstens einen Teil in die Bibliothek zu Florenz hinüberrettete.

Auf Galilei, Bruno, Keppler und manche anderen Männer, durch welche die neuen Anschauungen zum Ausdruck gelangten, im Ringen mit dem Althergebrachten, vor dem sich ein Wall von Vorurteilen schützend ausbreitete, paßt so recht eigentlich Goethes Wort:

Die wenigen, die was davon erkannt,
Die töricht g'nug ihr volles Herz nicht wahrten,
Dem Pöbel ihr Gefühl, ihr Schauen offenbarten,
Hat man von je gekreuzigt und verbrannt.

Und dennoch, trotz aller Unbilden sollte die eingebrachte Saat herrlich aufgehen und Früchte zeitigen, deren die Menschheit zum weiteren Fortschreiten nicht entraten konnte.

Zunächst fand Galilei in Italien eine Anzahl begeisterter Schüler, die im Sinne des Meisters dessen Werk fortsetzten, wenn ihnen meist auch nur ein weit bescheideneres Können verliehen war. Vivianis und seiner Bemühungen haben wir schon gedacht. Ferner ist Toricelli zu nennen, der vor allem zur Fortsetzung der Gedanken und Untersuchungen Galileis berufen war. Beide

Männer hatten während der qualvollen Monate, welche der Auflösung ihres Lehrers vorhergingen, mit diesem in unmittelbarem Verkehr gestanden und pietätvoll aufgezeichnet, was den unermüdlichen Geist während der letzten Spanne seines Erdenwallens beschäftigte. Sie umstanden mit den Angehörigen das Sterbebett, an welchem leider auch die Bevollmächtigten der Inquisition nicht fehlten. An Toricelli und Viviani, welche gemeinsam das Barometer erfanden und die Lehre vom Horror vacui widerlegten, schlossen sich eine Anzahl von gleichem Streben erfüllter Männer an. So entstand in Florenz eine Vereinigung, welche sich die Aufgabe stellte, die Natur auf dem Wege des Experiments zu erforschen. Diese Accademia del Cimento [1]) wurde jedoch schon nach zehn Jahren [2]) infolge der in Florenz herrschenden hierarchischen Strömungen wieder aufgelöst; gleichzeitig wurden jedoch die von ihren Mitgliedern erhaltenen Resultate bekannt gegeben [3]). Da die betreffende Schrift für die weitere Entwicklung der Experimentalphysik von großer Bedeutung gewesen ist, so soll hier einiges daraus mitgeteilt werden.



Abb. 17. Das in den Abhandlungen der Accademia del Cimento dargestellte Gefäßbarometer (Musschenbroek. Tentamina experimentorum captorum in Accademia del Cimento. MDCCLVI. Tab. IX. Fig. 3).

1) Akademie des Versuchs.

2) Die Gründung der Akademie erfolgte am 19. Juni 1657, während die Auflösung im Jahre 1667 stattfand.

3) In den Saggi di naturali esperienze fatte nell' Accademia del Cimento, Florenz, 1667. Im Jahre 1731 wurden die „Saggi“ in lateinischer Übersetzung von Musschenbroek herausgegeben: Tentamina experimentorum naturalium captorum in Accademia del Cimento.

Zunächst reproduzieren wir in beistehender Abb. 17 in der zur Zeit der Akademie gebräuchlichen Form ein Gefäßbarometer, dessen Graduierung durch Glasknöpfchen bewerkstelligt wurde. Die Mitglieder der Akademie stellten auch das erste wirkliche Thermometer her. Das von Galilei zum Messen der Temperatur gebrauchte Instrument war nur ein Thermoskop, d. h. es zeigte nur ein Mehr oder Minder von Wärme an. Es bestand nämlich aus einer offenen Kugelröhre, in welcher sich ein Flüssigkeitstropfen auf- und abbewegen konnte. Letzteres geschah, sobald die in der Kugel eingeschlossene Luft erwärmt oder abgekühlt wurde, da sie dementsprechend einen größeren oder kleineren Raum einnimmt. Gleichzeitig mußte sich aber auch jede Schwankung des Luftdrucks an diesem Instrument bemerkbar machen, welches nach einer Mitteilung Vivianis noch vor dem Jahre 1600 aus Galileis Händen hervorging. Es ist wahrscheinlich, daß Galilei durch das Studium Herons zu dieser Erfindung angeregt wurde.



Abb. 18. Das in den Abhandlungen der Accademia del Cimento dargestellte Thermometer (Musschenbroek, Tentamina Tab. I, Fig. 1).

Das Instrument, dessen sich die Accademia del Cimento bei ihren Untersuchungen bediente, war ein wirkliches Thermometer, welches vom Wechsel des Luftdrucks nicht merklich beeinflußt wurde (siehe Abb. 18). Als Flüssigkeit, deren Ausdehnung zum Messen der Wärme diente, benutzte man Weingeist. Die Skala besaß zwar hundert Teile, doch waren die Angaben sehr schwankend, da man keine festen, leicht bestimmbaren Punkte zu Grunde legte, sondern für die niedrigste, sowie die höchste in Toskana beobachtete Temperatur gewisse Punkte der Skala festsetzte. Erst nach Auflösung der Akademie brachte eins ihrer Mitglieder[1]) die noch heute gebräuchlichen Fundamentalpunkte, nämlich den Schmelzpunkt und den Siedepunkt des Wassers, in Vorschlag.

[1]) Renaldini, Philosophia naturalis 1694 III, 276. Nach Gerland hat Huygens zum erstenmal, und zwar schon 1665, den Vorschlag gemacht, den Schmelzpunkt und den Siedepunkt des Wassers als Fundamentalpunkte zu benutzen (Zeitschrift für Instrumentenkunde XIII, 390. 1893).

Weitere Versuche betrafen die Ausdehnung des Wassers beim Gefrieren und die Zusammendrückbarkeit desselben. Man füllte ein metallenes Gefäß[1]) mit Wasser, verschloß das Gefäß und brachte es in eine Kältemischung, deren Anwendung zu wissenschaftlichen Zwecken gleichfalls ein Verdienst der Akademie ist. Die Ausdehnung des Wassers bei seiner Umwandlung in Eis erfolgte mit solch unwiderstehlicher Gewalt, daß das Gefäß zersprang, ein Versuch, welcher bekanntlich in den Bestand der Vorlesungsversuche des heutigen Physikunterrichts übergegangen ist.

An den Nachweis, daß das Wasser sich auszudehnen vermag, mußte sich naturgemäß die Frage knüpfen, ob diese Flüssigkeit auch zusammengedrückt werden kann. Um darüber eine Entscheidung herbeizuführen, schloß man Wasser in eine silberne Kugel ein und suchte deren Form durch Pressen und Hämmern zu verändern[2]). Dabei trat ganz wider Erwarten die Erscheinung ein, daß die Kugel sich mit Wassertröpfchen bedeckte (siehe Abb. 19). Man hatte auf diese Weise zwar nicht die vermutete Zusammendrückbarkeit nachgewiesen, wohl aber erkannt, daß die Porosität eine allgemeine Eigenschaft der Materie ist, die sich selbst auf die Metalle erstreckt.



Abb. 19. Versuch der Akademiker über die Zusammendrückbarkeit des Wassers[3]).

Die angeführten Versuche mögen genügen, um einen Begriff von dem Wirken und der Bedeutung der Akademie zu geben, welche das Vorbild der später in Paris, London, Berlin und anderen Hauptstädten ins Leben tretenden Vereinigungen dieser Art gewesen ist. Nicht nur in Italien, sondern auch in den übrigen Kulturländern hatte das induktive Verfahren Wurzel geschlagen. Teils unabhängig von Galilei und seiner Schule, teils angeregt von dieser, erstand eine stetig wachsende Schar von Forschern, welche die Unfruchtbarkeit der alten Methode erkannten und mit vereinten Kräften die Naturwissenschaften in das neue Fahrwasser hinüberzulenken strebten.

---

1) Abschnitt III der „Saggi".

2) Abschnitt IV der „Saggi".

3) Abbildung aus Musschenbroek: Tentamina experimentorum naturalium captorum in Accademia del Cimento.

Während in Italien diese Wissenschaften durch das Verhalten der in mittelalterlicher Denkweise beharrenden Kreise wenn auch nicht unterdrückt, so doch in hohem Grade gehemmt wurden, erwies sich im Verlauf des 17. Jahrhunderts der Boden Englands und Deutschlands für ihre Entwicklung günstiger. In diesen Ländern waren durch die Reformation die Fesseln des blinden Autoritätsglaubens gesprengt worden. Zwar wurde diese Bewegung bald durch neue Schranken eingedämmt; eine tiefgehende Wirkung blieb aber dennoch nicht aus; sie trat zumal in den Geisteserzeugnissen jener Zeit zutage.

In England ging dieser Befreiung seit dem Zeitalter Elisabeths auch eine Neugestaltung der gesamten Lebensverhältnisse, sowie eine Ausdehnung des Gesichtskreises und des Machtbereiches parallel, welche eine in diesem Lande nie vorher in solchem Maße gekannte Entfaltung aller Kräfte zur Folge hatten. Hier war es, wo damals das stolze Wort „Wissen ist Macht"[1]) erklang, und daß dies Wort seitdem gewürdigt wurde, ist eine der Ursachen von Englands Emporblühen gewesen.

Die bedeutendste Erscheinung, welche uns zu Beginn der neueren Zeit auf dem Boden Englands begegnet, ist William Gilbert (1540—1603). Ihm verdanken wir die erste wissenschaftliche Behandlung der elektrischen und magnetischen Erscheinungen. Das Ergebnis seiner Untersuchungen hat Gilbert in dem Werke „Über den Magneten" niedergelegt, mit dem der Leser durch den I. Band[2]) bereits vertraut geworden ist.

Bisher kannte man die elektrische Anziehung fast nur am Bernstein. Durch Versuche, über welche Gilbert in den letzten Abschnitten des im I. Bande wiedergegebenen Auszugs berichtet, wurde jetzt bewiesen, daß sich diese Kraft auf alle festen Substanzen und sogar auf Flüssigkeiten erstreckt. Tropfen, welchen Gilbert elektrisierte Körper näherte, erhoben sich auf ihrer Unterlage. Die Einwirkung der Elektrizität auf Metalle stellte er fest, indem er diese in der Form leichtbeweglicher Nadeln anwandte und zeigte, daß sie von elektrisierten Körpern angezogen werden. Daß zwischen den letzteren auch eine Abstoßung stattfindet, ist von Gilbert übersehen worden. Ganz unbekannt blieb ihm die elektrische Abstoßung jedoch nicht, da er wenigstens die

---

1) Ein Ausspruch Bacons: „Scientia est potentia".

2) Gilbert, De magnete magneticisque corporibus et magno magnete tellure, London 1600. Siehe Bd. I d. Grdr., Seite 53.

Beobachtung machte, daß die Flamme sich von einem elektrisierten Körper fortbewegt.

Von den elektrischen Erscheinungen wußte Gilbert die magnetischen scharf zu trennen, während vor ihm in dieser Hinsicht manche Verwirrung geherrscht hatte. Die magnetischen Erscheinungen waren infolge der Verwendung, welche die Boussole seit dem 12. Jahrhundert in Europa erfuhr, weit mehr als die elektrischen beachtet worden. So konnte die als Deklination bezeichnete Abweichung der Nadel aus der Nord-Südrichtung einem aufmerksamen Beobachter nicht wohl entgehen. Columbus hatte dann die Änderungen der Deklination auf seiner Reise gegen Westen entdeckt und war sogar auf den Gedanken gekommen, diese Änderungen zur Bestimmung der geographischen Länge zu benutzen. Die Neigung der um eine horizontale Achse drehbaren Magnetnadel war gleichfalls bereits bekannt geworden. Gilbert selbst teilt mit, daß ihre Größe im Jahre 1576 für London gleich 71° 50′ gefunden worden sei[1]).

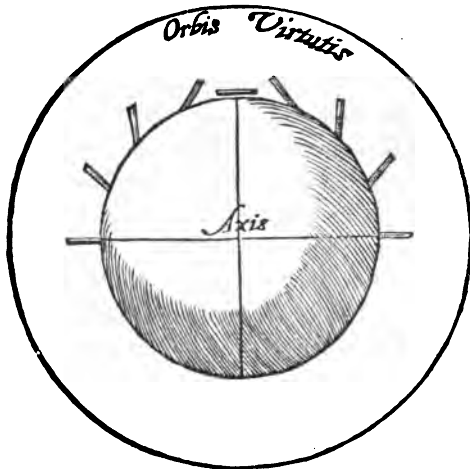


Abb. 20. Gilbert untersucht die Stellung eines kleineren Magneten zu seiner Terella (Gilbert, De magnete, lib. II. cap. VI).

Gilberts wesentlichstes Verdienst bestand nun darin, daß er, alle erdmagnetischen Erscheinungen unter einem Gesichtspunkt vereinigend, die Erdkugel für einen einzigen großen Magneten erklärte. Zu dieser Auffassung gelangte er, indem er das Verhalten der Nadel gegen einen kugelförmigen Magneten eingehend untersuchte und es mit ihrem Verhalten gegen die Erde verglich (siehe die im I. Bande von Gilbert beschriebenen Versuche mit seiner Terella). Daraus, daß die Nadel sich an den Polen eines

---

1) Gilbert, De magnete, I, 1. Diese Messung rührt von Robert Norman her. Die erste jedoch mangelhafte Beobachtung der Inklination erfolgte im Jahre 1544 durch den Deutschen Georg Hartmann.

kugelförmigen Magneten senkrecht zur Oberfläche ein stellt (siehe Abb. 19), schloß er, daß die Inklination in den nördlichen Teilen der Erde größer sein müsse als in London, eine Vermutung, welche später durch Hudson während seiner Entdeckungsreisen in den polaren Gegenden Amerikas bestätigt wurde. Hudson fand nämlich im Jahre 1608 schon unter dem 75 Grad nördlicher Breite eine nahezu senkrechte Einstellung der Inklinationsnadel (89° 30'). Dies war der Annahme Gilberts nicht ganz entsprechend, da er der Meinung war, der magnetische Nordpol müsse mit dem geographischen zusammenfallen, wie er auch die tägliche Drehung der Erde als eine Folge des Erdmagnetismus auffaßte. Galilei, der Gilbert schätzte und seine Ergebnisse im wesentlichen gelten ließ, wies jedoch die Ansicht, daß jede freischwebende magnetische Kugel sich um ihre Achse drehen müsse, als irrtümlich zurück.

Von dem Nachweis, daß die Erde ein kugelförmiger Magnet ist, war es nur ein Schritt zu dem Glauben, daß auch die übrigen Weltkörper, insbesondere der Mond und die Sonne[1]), mit magnetischer Kraft begabt seien. Gilbert zögerte nicht, diesen Schluß zu ziehen und als erklärter Anhänger des kopernikanischen Systems die Bewegung der Weltkörper, sowie die Erscheinung der Ebbe und Flut auf einen solchen Grund zurückzuführen. Hierin folgte ihm auch Keppler, dessen Ansichten über die magnetische Kraft der Sonne wir weiter unten kennen lernen werden.

Da Gilbert die geographischen Pole mit den magnetischen zusammenfallen ließ, bedurfte die Erscheinung der Deklination einer besonderen Erklärung. Gilbert, dem noch wenig Beobachtungsmaterial zur Verfügung stand, hielt die Verteilung von Wasser und Land für die Ursache jener Abweichung der Nadel. Seiner Meinung nach mußte im Innern größerer Kontinente, wo der Einfluß des Meeres aufhörte, auch die Deklination verschwinden. Die wenigen Beobachtungen, welche die Seefahrer damals gesammelt hatten, waren geeignet, diese irrige Ansicht zu unterstützen.

Es ist begreiflich, daß Gilbert noch nicht im stande war, eine genügende Deutung des von ihm experimentell Erforschten zu geben. Die elektrischen Erscheinungen führte er in ähnlicher Weise, wie es schon das Altertum versucht hatte, auf Ausflüsse zurück; denn, so sagt er, die Materie kann keine Wirkung ausüben, ohne daß Berührung stattfindet. Wie man die Luft als

---

1) Gilbert, De magnete, II, Kap. IV.

einen Ausfluß der Erde betrachten müsse, so beruhe die Elektrisierbarkeit der Körper darauf, daß eine gewisse feinste Flüssigkeit, welche erforderlich sei, um den Zusammenhang der Körper zu bewirken, infolge der Reibung aus ihnen ausgetrieben werde. Dieses Fludium sollte die elektrische Anziehung leichter Körper vermitteln, ebenso wie nach Gilberts Ansicht die Luft es ist, welche die ihrer Unterstützung beraubten Körper veranlaßt, sich dem Mittelpunkt der Erde zu nähern. Diese Vorstellung von einer oder mehreren Flüssigkeiten als Trägern der elektrischen Erscheinungen, welche uns bei Gilbert schon im Keime begegnet, wurde vom 18. Jahrhundert, das sich in hervorragendem Maße der Erforschung der Reibungselektrizität zuwandte, festgehalten und zu einer wissenschaftlichen Theorie entwickelt.



Abb. 21. Gilberts Versuche mit armierten Magneten (Gilbert, De magnete. cap. XX).

Auf eine mechanische Erklärung der magnetischen Erscheinungen verzichtet Gilbert; er hält sie für die Folge einer Beseelung der Materie. Da er die Bewegung der Weltkörper auf den Magnetismus zurückführt, bleibt ihm auch nichts anderes übrig. Jenseits der Ausflüsse findet sich der leere Raum, das Vakuum, durch welches hindurch unmöglich eine materielle Einwirkung stattfinden kann. Diese Überlegung bewog Gilbert — und auch hierin folgte dem Physiker der Astronom Keppler — in den Weltkörpern eine seelische, übernatürliche Kraft anzunehmen. Das große Rätsel von der Wirkung der Materie in die Ferne begegnet uns also schon hier an der Schwelle der neueren Naturwissenschaft.

Mängel, welche theoretischen Vorstellungen anhaften, beeinträchtigen aber in keiner Weise den Wert experimentell gewonnener Ergebnisse, und diese sind es, welche die Wissenschaft Gilbert in reichem Maße verdankt. Er hat wie Galilei der Forschung den rechten Weg gewiesen. Hervorgehoben seien noch Gilberts Versuche mit bewaffneten oder armierten Magneten, welche er dadurch herstellte, daß er die Pole eines natürlichen Magneten mit Eisenkappen bedeckte (siehe Abb. 21).

Es zeigte sich, daß die Tragkraft, über welche Gilbert vergleichende Messungen anstellte, durch eine derartige Armierung bedeutend zunimmt. So trug ein Magnet vor der Armierung 2 und nach derselben 12 Unzen Eisen. Die Abbildung zeigt uns einen derartigen Magneten, welcher zwei andere von gleicher Größe trägt.

In ganz anderer Weise wie Gilbert machte sich zur selben Zeit der Engländer Francis Bacon (1561—1626) um die Herbeiführung desjenigen Aufschwungs verdient, welcher auf dem Gebiete der Naturwissenschaften mit dem Beginn des 17. Jahrhunderts zum vollen Durchbruch kam. Hatte Gilbert gleich Galilei aufbauend und durch die Tat geschaffen, so wirkte Bacon mehr zerstörend und durch das Wort. Er war es, der die damalige geistige Atmosphäre von jenen Trübungen reinigen half, die ihr aus der aristotelisch-scholastischen Periode noch anhafteten. Dabei unterstützt ihn eine klare und gefällige Ausdrucksweise. Mit beredten Worten kämpft er in seinem Hauptwerk, dem neuen Organon [1]), mit welchem der Leser bereits durch den I. Band bekannt geworden ist, gegen alles, was die Menschheit von der Ausübung des induktiven Verfahrens bisher zurückgehalten hatte [2]). Trotzdem würde es verkehrt sein, Bacon für einen Naturforscher oder gar, wie es auch wohl geschehen ist, für den eigentlichen Begründer, den geistigen Urheber der neueren Naturwissenschaft zu halten. Das, was er als neue Botschaft verkündete, war durch Galilei, Gilbert und andere längst Wirklichkeit geworden. In allen Ländern regte sich ein neuer, dem experimentellen Verfahren zugewandter Geist. Bacons Verdienst ist es, daß er diesen in einer klaren, oft prophetischen Weise zum Ausdruck bringt. Wir dürfen ihn also nicht als den Erfinder, wohl aber als einen beredten Verkünder der induktiven Forschungsweise bezeichnen.

Francis Bacon wurde am 22. Januar 1561 in London geboren und bekundete frühzeitig eine hervorragende Begabung. Mit 13 Jahren bezog er die Universität, mit 16 veröffentlichte er seine erste Schrift, in welcher er bereits sein Lebenswerk, den Kampf gegen die scholastische Philosophie, aufnahm. Von Beruf war Bacon Jurist. Eine glänzende Beredsamkeit, vereinigt mit einem oft allzu geschmeidigen Wesen unterstützte sein ehrgeiziges Streben.

---

1) Bacon, Novum organon. 1610. Übersetzt und erläutert von J. H. v. Kirchmann, Berlin 1870.

2) Siehe Bd. I d. Grdr., Abschnitt 14.

Sprach er, so hatte er seine Zuhörer so in der Gewalt, daß jeder fürchtete, er möchte schon am Ende angekommen sein. Staffel auf Staffel erklimmend, dabei wenig wählerisch in seinen Mitteln, gelangte Bacon schließlich zur höchsten Würde, indem ihn der König zum Großkanzler und zum Baron von Verulam erhob. Dies geschah zu einer Zeit, als sich in England die Anzeichen bevorstehender politischer Umwälzungen immer mehr geltend machten und der Widerstand des Parlamentes gegen die Krone und deren Vertreter in stetem Wachsen begriffen war. Eins der ersten, indes nicht schuldlosen Opfer dieses Streites ist Bacon geworden. Er wurde vom Parlament der Bestechlichkeit überführt und darauf vom Hause der Lords zum Verlust seiner Ämter verurteilt. Dies geschah im Jahre 1621. Den Rest seines Lebens verbrachte er in der Zurückgezogenheit, mit der Abfassung philosophischer Werke beschäftigt. Obgleich Bacon auf Experimente drang und lehrte, daß alle Philosophie von der sinnlichen Erfahrung ausgehen müsse, hat er selbst kaum einen Versuch von Bedeutung angestellt. Sein mathematisches und physikalisches Wissen war selbst für seine Zeit gering. Er kannte zwar die Werke Galileis und Gilberts, hatte jedoch zum eingehenderen Studium derselben offenbar keine Muße gefunden. Während Galilei mit dem Fernrohr den Himmel durchforschte, zweifelte Bacon, ob Instrumente von Nutzen seien[1]). Auch blieb er Zeit seines Lebens ein Gegner des kopernikanischen Systems. Ebenso fanden die klaren Anschauungen über Mechanik, zu denen sich Galilei und geistesverwandte Forscher durchgerungen, keinen Eingang in den Geist Bacons. Auf diesem Gebiete beharrte er gänzlich in den Fesseln der Scholastik, welche er im übrigen bekämpfte. Man höre nur seine Ausführungen über die Bewegung des Zitterns. „Sie ist," heißt es[2]), „die einer ewigen Gefangenschaft, in welcher die Körper nicht ihrer Natur entsprechend gestellt sind, aber sich auch nicht ganz schlecht befinden und deshalb sich hin- und herbewegen, weil sie weder mit ihrem Stand zufrieden sind, noch es wagen, weiter vorzuschreiten." Als eine Bewegung solcher Art faßt er z. B. diejenige des Herzens auf. Ja, er kennt sogar eine „Bewegung aus Abscheu vor Bewegung". Daß er an dem aristotelischen Gegensatz der Leichtigkeit und Schwere festhält und z. B. zu untersuchen empfiehlt, ob die Luft

1) Siehe Draper, Geschichte der geistigen Entwicklung Europas. Leipzig 1841. Seite 527 u. f.

2) Novum organum scientiarum. Lugd. Bat. 1645. Kap. 48, Seite 366.

ein absolut leichter oder schwerer Körper sei, darf uns demgegenüber nicht wunder nehmen.

Trotz seines Unvermögens, Eigenes in der von ihm gewollten Richtung zu vollbringen, ist Bacons Einfluß nicht zu unterschätzen. Seine Werke haben manche tüchtige Kraft ermuntert, sich in den Dienst der großen, von Bacon in den Vordergrund gerückten Aufgabe zu stellen, der Aufgabe nämlich, die wahre Herrschaft des Menschen dadurch zu begründen, daß letzterer sich zum Herren der Naturkräfte mache. In der Philosophie ist Bacon der Urheber derjenigen Richtung, welche, die Möglichkeit der Erkenntnis voraussetzend, von der Erfahrung ausgeht und als Realismus bezeichnet wird. Auch auf die Pädagogik hat sich sein Einfluß erstreckt. Comenius, der Vater der neueren Pädagogik, wurde in erster Linie durch ihn veranlaßt, das größte Gewicht auf die Anschauung zu legen. „Warum", so sagt Comenius, „sollen wir nicht statt fremder Bücher das lebendige Buch der Natur aufschlagen? Fast niemand lehrt Physik durch Anschauung und Experiment. Alle unterrichten durch mündlichen Vortrag des aristotelischen Werkes oder eines anderen."

Neben Italien und England war es vor allem Deutschland, das an der Neubegründung der Naturwissenschaft lebhaften Anteil nahm. Hier war das kopernikanische System entstanden, von hier aus hatte die Reformationsbewegung einen großen Teil der europäischen Menschheit ergriffen. Zwar drohte die befreiende Kraft, welche dieser Bewegung innewohnte, unter neuen starren Formen, sowie in endlosen Religionskämpfen zu ersticken. Die evangelische Hierarchie war nicht weniger darauf bedacht, die Lehrfreiheit in ängstlicher Weise zu beschränken, wie es in Italien durch den katholischen Klerus geschah. Ebenso wenig wie in diesem Lande hätte es an deutschen Hochschulen ein Gelehrter wagen dürfen, sich rückhaltlos zur kopernikanischen Weltanschauung zu bekennen. Dazu kam in protestantischen Ländern ein solch weitgehender Haß gegen den Katholizismus, daß selbst vernünftige Neuerungen, wenn sie von Rom ausgingen, zurückgewiesen wurden. So erging es z. B. der von Gregor XIII. im Jahre 1582 ins Leben gerufenen Reform des Kalenders. Bis dahin hatte die Christenheit mit dem julianischen Jahr von $365^{1}/_{4}$ Tagen gerechnet, obgleich schon Hipparch und Ptolemäos wußten, daß die Dauer des tropischen Jahres geringer ist. Alle Bemühungen, den stetig wachsenden Fehler des Kalenders zu beseitigen, an denen z. B. auch Kopernikus lebhaften Anteil genommen, waren vergeblich geblieben. Dieser Fehler

belief sich zur Zeit Gregors schon auf 10 Tage. Er wurde dadurch ausgemerzt, daß man die Tage vom 5. bis zum 14. Oktober des Jahres 1582 ausfallen ließ und anordnete, daß in Zukunft die Säkularjahre, sofern sie nicht durch 400 teilbar sind, gewöhnliche Jahre bleiben sollten[1]).

Die allgemeine Annahme des gregorianischen Kalenders wurde besonders durch Keppler befürwortet, welcher 1613 als Begleiter des Kaisers auf dem Reichstag zu Regensburg erschien. Die protestantischen Stände betrachteten jedoch die Frage als eine Religionssache und lehnten jeden Vermittlungsvorschlag ab. Volle hundert Jahre dauerte es, bis der Verwirrung ein Ende bereitet wurde und, dank den Bemühungen eines Leibniz, die Reform in den protestantischen Teilen Deutschlands Eingang fand.

Wie bezüglich des Kalenders und des kopernikanischen Systems, so übte damals in allen Fragen eine noch nicht hinlänglich geläuterte Religiosität einen bestimmenden Einfluß aus. Indem sie sich auch mit politischen Interessen verquickte und den Gegensatz des alten und des neuen Bekenntnisses in Kriegen und Verfolgungen zum Ausdruck brachte, wie sie die Menschheit blutiger und zerstörender bisher kaum gesehen, verlieh diese auf Irrwegen befindliche Religiosität dem 17. Jahrhundert sein eigentümliches Gepräge. Bevor jedoch in Deutschland der dreißigjährige und in England der Bürgerkrieg entfesselt wurden, Begebenheiten, welche in der Entwicklung dieser Länder einen langen Stillstand herbeigeführt und viele Keime in ihrem Ansatz zerstört haben, hatte der wissenschaftliche Sinn dort schon in solchem Maße Wurzel geschlagen, daß er wohl gehemmt, nicht aber wieder vernichtet werden konnte. Während des gesamten 16. Jahrhunderts lief die geistige Entwicklung zumal in Deutschland darauf hinaus, die scholastisch-aristotelische Denkweise zurückzudrängen und zunächst das humanistisch-philologische, dann aber daneben auch das naturwissenschaftliche Element an deren Stelle zu setzen. Zwar blieb das Denken der großen Masse dem Gesetz der Trägheit zufolge, das auch auf geistigem Gebiete seine Geltung hat, zunächst noch in den alten Banden befangen. Indes nahm während der Generationen, welche dem deutschen Religionskriege vorangingen, die Zahl der selbständig denkenden Männer stetig zu. Gleichzeitig erlebten Kunst, Gewerbfleiß und Handel einen

[1]) Der gregorianische Kalender schaltet somit in 400 Jahren 97 Tage ein; sein Fehler beträgt für diesen Zeitraum nur 0,122 Tage.

bedeutenden Aufschwung und wirkten befruchtend auf viele Zweige der Wissenschaft.

Einen Beweis, welches Ansehen Aristoteles trotzdem noch immer genoß, bietet die Geschichte der Entdeckung der Sonnenflecken. Als nämlich im Jahre 1611 der Jesuit Scheiner sie fast gleichzeitig mit Fabricius und Galilei auffand, wies sein geistlicher Vorgesetzter ihn darauf hin, daß es sich hier nur um Fehler der Gläser oder der Augen handeln könne, da er den Aristoteles zweimal durchgelesen und nichts von derartigen Dingen gefunden habe. Scheiner, ein Deutscher, ließ sich jedoch durch dieses Urteil nicht beeinflussen. Er stellte etwa 2000 Beobachtungen über die Sonne zusammen[1]) und dehnte seine Forschungen mit Erfolg auf die Natur des Sehens und die Beschaffenheit des Auges aus. So bewies er die Ähnlichkeit des letzteren mit der Camera obscura durch folgenden Versuch. An der hinteren Wand eines Ochsenauges wurden die Häute bis auf die durchscheinende Netzhaut entfernt und eine Kerze in einiger Entfernung vor diesem Auge angebracht. Das umgekehrte Bild der Flamme erschien dann auf der Netzhaut und konnte von einem Standpunkt hinter dem dergestalt präparierten Auge wahrgenommen werden[2]). Später stellte Scheiner den gleichen Versuch mit demselben Ergebnis am menschlichen Auge an.

Als Galilei den Triumphzug seiner astronomischen Entdeckungen begann, richtete auch der Deutsche Johann Fabricius das kurz zuvor in Holland erfundene Fernrohr auf den Himmel. Diesem Fabricius gebührt hinsichtlich der Sonnenflecken sogar die Priorität der Entdeckung, um welche zwischen Galilei und Scheiner mit so großer Heftigkeit gestritten wurde[3]). In einer 1611 erschienenen Schrift[4]) berichtet Fabricius über seine Beobachtung mit folgenden Worten: „Als ich den Rand der Sonne aufmerksam betrachtete, zeigte sich mir unerwartet ein schwärzlicher Fleck. Zuerst glaubte ich, es sei eine vorüberziehende Wolke. Am folgenden Morgen erschien aber beim ersten

---

1) Rosa ursina sive sol ex admirando facularum et macularum suarum phaenomeno varius. 1630.

2) Scheiner, Oculus, hoc est fundamentum opticum. 1619.

3) Gerhard Berthold, Der Magister Johann Fabricius und die Sonnenflecken. Leipzig. 1894.

4) De maculis in sole observatis. Wittenberg 1611. Ein Neudruck des sehr seltenen lateinischen Originals findet sich in der vorerwähnten Schrift von G. Berthold.

Anblick der Fleck wieder, indes schien er seine Stelle ein wenig verändert zu haben. Darauf herrschte drei Tage trübes Wetter. Als wir wieder heiteren Himmel bekamen, war der Fleck von Ost nach West gerückt, und kleinere waren an seine Stelle getreten. Darauf entzog sich der große Fleck am entgegengesetzten Rande nach und nach den Blicken. Daß den kleineren dasselbe bevorstand, sah man aus ihrer Bewegung. Eine unbestimmte Hoffnung ließ mich die Wiederkunft der Flecken erwarten. Und, in der Tat, nach 10 Tagen begann der größere Fleck am östlichen Rande von neuem hervorzutreten."

Als Grund dieser eigentümlichen Erscheinung gab es zwei Möglichkeiten, welche beide eingehend erörtert wurden. Entweder gehörten die Flecken dem Sonnenkörper an, und diese Ansicht vertrat von vorn herein Fabricius. Oder man hatte es mit dunklen, die Sonne umkreisenden Körpern zu tun, eine Annahme, die besonders unter denjenigen Astronomen Anhänger fand, welche die neue Erscheinung mit der aristotelischen Lehre von der Reinheit der Sonne in Einklang zu bringen suchten. Fortgesetzte Beobachtungen verhalfen jedoch der ersten Ansicht zum Siege. Blieb es auch unentschieden, welchen Ursprung die Flecken besitzen, so zögerte man doch nicht, nachdem man sie als Teile der Sonne erkannt hatte, aus ihrer Bewegung auf eine Umdrehung dieses Weltkörpers zu schließen, sowie daraus die Dauer einer solchen und die Lage des Sonnenäquators abzuleiten.

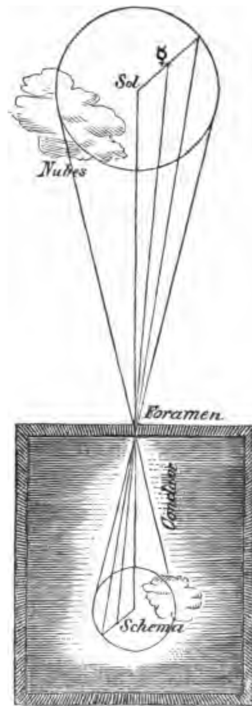


Abb. 22. Keppler erblickt einen Sonnenflecken, den er für den Merkur hält [1]).

Ein gewisses Anrecht auf die Entdeckung der Sonnenflecken besitzt auch der größte Astronom jener Periode, der Deutsche Johannes Keppler, dessen unsterbliches Verdienst um das Eindringen in den Zusammenhang des Naturganzen wir jetzt eingehender zu beleuchten haben. Es war im Jahre 1607, also zu einer

[1]) Opera omnia. II. Seite 805.

Zeit, als das Fernrohr noch nicht erfunden war, als Keppler in seinem Tagebuch eine seltsame Beobachtung niederschrieb[1]). Er war nämlich mit älteren, aus der Zeit Karls des Großen stammenden Nachrichten bekannt geworden, nach welchen man Merkur vor der Sonne als kleinen, schwarzen Fleck gesehen haben wollte[2]). Um diese Nachricht auf ihre Wahrscheinlichkeit zu prüfen, verfuhr Keppler an einem Tage, als Sonne und Merkur in Konjunktion standen, folgendermaßen: Er ließ die Sonnenstrahlen durch eine enge Öffnung in ein verdunkeltes Zimmer treten und fing das hierbei entstehende Bild der Sonne vermittelst eines Papierschirmes auf (siehe Abb. 22). Dieses Sonnenbild zeigte zur großen Überraschung und Freude Kepplers einen kleinen, verwaschenen, wie ein leichtes Wölkchen erscheinenden Fleck, den er für Merkur hielt.

Ohne Zweifel hat es sich in diesem wie in jenem älteren Falle um Sonnenflecken gehandelt, da Merkur, wie spätere Rechnungen ergeben haben, am Tage der Beobachtung sich nicht mehr vor der Sonnenscheibe befand und auch zu klein ist, um bei einer Konjunktion sich in der gedachten Weise bemerklich zu machen.

In dem Kopfe eines Deutschen war das neue Weltsystem entstanden, durch deutsche Geistesarbeit sollte es auch seinen Ausbau erfahren und auf den Boden unzweifelhafter Gewißheit erhoben werden. Zu dieser Großtat ersten Ranges war Johannes Keppler berufen, eine der bedeutendsten Erscheinungen, welche Deutschland im 17. Jahrhundert auf dem Gebiete des geistigen Lebens hervorgebracht hat. Dies rechtfertigt es, bevor wir uns den Forschungen Kepplers zuwenden, seinen Lebensgang zu verfolgen, der zugleich ein Stück Kulturgeschichte entrollt. Die ganze Erbärmlichkeit seiner Zeit mußte der große Mann durchkosten, so daß später über ihn mit vollem Recht die Dichterworte erklingen konnten[3]):

Kühn zum Himmel gekehrt, trotz irdischen Jammers Umstrickung,
Mißt durchdringend Dein Blick leuchtenden Welten die Bahn.
Mit der Fackel des Geistes erhell'st Du der ew'gen Gesetze
Schrift, doch auf Erden schwingt Unsinn den tödlichen Brand.

---

1) Joannis Keppleri Phaenomenon singulare seu Mercurius in sole, Leipzig 1609. (Opera omnia, ed. Frisch. II, 793.)

2) In Einhards Vita Caroli Magni (herausgegeben von Jaffé 1876) wird berichtet, der Merkur sei im April des Jahres 807 „quasi parva macula nigra" vor der Sonnenscheibe gesehen worden.

3) Breitschwerdt, J. Kepplers Leben und Wirken. 1831. Seite 178.

Johannes Keppler erblickte am 27. Dezember 1571 in dem württembergischen Städtchen Weil das Licht der Welt. Schon im zartesten Alter beginnt jene Kette von Widerwärtigkeiten, welche sich durch sein ganzes Leben hindurch fortsetzen sollte. Sein schwächlicher Körper wird wiederholt von schweren Krankheiten heimgesucht. Im Elternhause herrscht ehelicher Zwist. Der Vater nimmt Kriegsdienste. Zurückgekehrt, verliert er durch eine übernommene Bürgschaft seine geringe Habe. Er zieht darauf von neuem hinaus und fällt im Kampfe gegen die Türken. Nach einer freudlos verlebten Jugend wurde der junge Keppler, da er geistige Fähigkeiten aufwies und seines schwächlichen Körpers wegen zur Erfüllung eines praktischen Berufes untauglich zu sein schien, zum geistlichen Stande bestimmt und zunächst in eine Klosterschule und darauf in das theologische Stift zu Tübingen geschickt.

„Was aus dem Gebiete der Geometrie und der Astronomie in den Schulen vorkam", schrieb Keppler später[1]), „begriff ich ohne Schwierigkeit. Ich wurde auf Kosten des Herzogs von Württemberg unterhalten. Meinen Fortgang in der Gelehrsamkeit zeigte mein Mysterium cosmographicum." Es ist dies Kepplers im Jahre 1596 erschienenes astronomisches Erstlingswerk, das uns nach Inhalt und Bedeutung später noch beschäftigen wird.

Die Anregung zu mathematischen und astronomischen Studien empfing Keppler durch den in Tübingen lehrenden Mästlin. Zwischen beiden Männern entwickelte sich ein enges Freundschaftsbündnis, das bis zu ihrem fast zur selben Zeit erfolgten Tode fortbestand. In dem Maße, wie Kepplers Interesse für die Astronomie wuchs, wurde er der damals herrschenden Theologie entfremdet. Diese war nämlich im evangelischen Württemberg zu einer Orthodoxie erstarrt, welche jede freie Geistesregung hemmte und in Dogmen zum Ausdruck kam, die in das wahrhaft religiöse Gemüt Kepplers keinen Eingang fanden. Als Keppler sich dazu noch als ein Anhänger der kopernikanischen Lehre bekannte, war es um seine theologische Laufbahn geschehen. Er wurde von seiner Fakultät als ungeeignet für den Kirchendienst bezeichnet und konnte von Glück sagen, daß er durch Mästlins Vermittlung eine Lehrstelle in Graz erhielt. Hier mußte er Mathematik, Virgil und Rhetorik vortragen, sowie den Kalender schreiben,

1) Kästner, Geschichte der Mathematik. IV, 247.

wobei die Voraussage des Wetters und der politischen Ereignisse von besonderer Wichtigkeit war. Mit welch schwerem Herzen mag der so aufrichtige, gerade Mann oft dies Geschäft erledigt haben, das er selbst als die „eitelste, aber notwendige Amtsarbeit" bezeichnete! „Mutter Astronomie müßte gewißlich Hunger leiden", sagt er ein anderes Mal, „wenn die Tochter Astrologie nicht das Brot erwürbe." In welchem Sinne übrigens Keppler dennoch eine Einwirkung kosmischer Vorgänge auf den Verlauf irdischer Erscheinungen für möglich hielt, ersieht man aus dem Schlußabschnitt seines „ausführlichen Berichtes über den im Jahre 1607 erschienenen Kometen und dessen Bedeutung" [1]). Es wird darin eine Art Sympathie der die Erde und den Menschen beherrschenden Kräfte mit dem Himmel zugegeben. Die Folge davon seien gewisse Rückwirkungen, welche einträten, wenn im Weltraum sich etwas Seltsames ereigne. Den abergläubischen Hang jener Zeiten zur Sterndeuterei hat Keppler, wie aus vielen seiner Äußerungen hervorgeht, also nicht geteilt. Sind es doch gerade seine Forschungen gewesen, welche der Astrologie den Boden entzogen haben. „Die sogenannten Irrsterne", sagt einer seiner Biographen [2]), „welche durch ihre Bewegungen die Schicksale bestimmen sollten, irrten nun nicht mehr, und die mystische Deutung, welche die Astrologie diesem Umherschweifen gab, verlor jeden Anhaltspunkt."

Trotzdem war Keppler, wenn er als Astronom sein Brot, verdienen wollte, zum astrologischen Frondienst gezwungen. Dieser Umstand brachte ihn auch in Berührung mit zwei geschichtlichen Persönlichkeiten seiner Zeit, Kaiser Rudolf II. und Wallenstein, deren Hang zur Astrologie bekannt genug geworden ist. Ein glücklicher Zufall fügte es, daß die von Keppler seinem ersten Kalender beigefügten Prophezeiungen, nämlich ein strenger Winter und der Ausbruch von Unruhen in Österreich, wirklich eintrafen. Ein Erfolg dieser Art wurde damals nicht nur von der Masse des Volkes, sondern auch von der Mehrzahl der Gebildeten höher geschätzt als die Abfassung eines gelehrten Buches.

Die freie Entfaltung der Wissenschaft wurde zu Kepplers Zeit auch durch das Fehlen desjenigen ethischen Momentes, das als akademische Lehrfreiheit bezeichnet wird und auch heute noch immer wieder gegen das Andrängen rückwärts gerichteter Bestrebungen verteidigt werden muß, in hohem Grade gehemmt.

---

1) Siehe Bd. I, Seite 48 u. f.

2) Siehe Breitschwerdt a. a. O. Seite 71.

Eine Lehrfreiheit konnte sich nur in solchem Maße entwickeln, wie der Streit mit Worten und das gegenseitige Ausspielen von Autoritäten durch die greifbaren und logisch verknüpften, durch kein Räsonnement hinwegzuleugnenden Ergebnisse der exakten Forschung zurückgedrängt wurden. Dieser ist es zu danken, daß im Verlauf der letzten Jahrhunderte das *αὐτὸς ἔφα* auf allen Gebieten der Wissenschaft allmählich verstummte und eine neue, die Wahrheit kündende Sprache, die Sprache, in welcher die Natur auf die an sie gestellten Fragen Antwort gibt, an dessen Stelle trat.

Zu jener Zeit, die wir kennzeichnen, konnte ein Mästlin trotz seiner besseren Überzeugung von dem Senat der evangelischen Universität Tübingen gezwungen werden, die Astronomie nach dem System des Ptolemäos zu lehren und gegen den gregorianischen Kalender zu schreiben. Als er bei diesem Auftrag zauderte, erteilte man ihm einen Verweis. Mästlin mußte sich beugen, wenn er nicht seine Existenz aufs Spiel setzen wollte. Er entledigte sich der aufgezwungenen Arbeit, indem er einige unbedeutende Mängel des neuen Kalenders rügte.

In eine neue Verlegenheit geriet Mästlin, als Keppler ihm von Graz seine Erstlingsarbeit, das Mysterium cosmographicum [1]), übersandte, damit sie in Tübingen im Druck erschiene. Der Senat erhob Einwendungen, weil die dem Werke zu grunde liegende Lehre von der Bewegung der Erde das Ansehen der heiligen Schrift beeinträchtigen könne. „Was ist zu tun?" schreibt Keppler darauf an den Freund. „Ich denke, wir ahmen den Pythagoreern nach und teilen uns privatim gegenseitig mit, was wir entdecken. Ich möchte Dir um meinetwillen keine Feinde zuziehen." Die Schwierigkeiten wurden aber schließlich überwunden. Das Werk erschien, und der jugendliche Verfasser sandte es an Tycho und an Galilei, die bedeutendsten zeitgenössischen Astronomen, zu denen er seitdem in dauernder Beziehung blieb.

Kopernikus hatte für die Abstände der Planeten von der Sonne den verhältnismäßigen Wert ermittelt. Da man ferner die Umlaufszeiten dieser Körper kannte, so war damit auch das Verhältnis der Geschwindigkeiten gegeben. Der Gedanke nun, welcher Keppler nicht nur in seinem „Mysterium", sondern auch bei allen späteren Arbeiten beherrschte, gipfelte darin,

---

[1]) Prodomus dissertationum cosmographicarum continens Mysterium cosmographicum de admirabili proportione orbium coelestium a Joanne Keplero. Tübingen. 1596.

eine einfache arithmetische oder geometrische Beziehung zwischen den Entfernungen zu finden, sowie eine ähnliche Beziehung zwischen den Entfernungen und den entsprechenden Geschwindigkeiten der Planeten nachzuweisen. Die Lösung des ersten Teiles dieser Aufgabe hat er in seinem „Mysterium" vergeblich angestrebt, während ihm die Bewältigung des zweiten Problems später nach großen Mühen gelungen ist.

Als Keppler seine wissenschaftliche Tätigkeit begann, war die Naturlehre, insbesondere soweit sie auf deutschen Hochschulen gelehrt wurde, von pythagoreischen und platonischen, auf Zahl und Maß sich gründenden Spekulationen überwuchert. Dieser Geist war es, der auch in Kepplers Erstlingswerk zum Ausdruck kam. Die Zahl der damals bekannten Planeten betrug 6: Merkur, Venus, Erde, Mars, Jupiter, Saturn. Den Grund für diese Zahl glaubte Keppler in der Existenz von fünf regulären Körpern zu finden, welche er zwischen die für kugelförmig gehaltenen Planetensphären einschaltete. Wir wollen ihn dieses sein Mysterium, auf welches er so stolz war, daß er einmal äußerte, er würde die Ehre dieser Entdeckung nicht um den Besitz des Kurfürstentums Sachsen preisgeben, mit eigenen Worten verkünden lassen: „Die Erdbahn liefert die Sphäre, welche das Maß aller übrigen bildet. Um diese Sphäre (η in Abb. 23) beschreibe ein Dodekaeder. In der Sphäre, welche dieses umschließt, liegt die Bahn des Mars (♂ in Abb. 23). Um die Marssphäre beschreibe man ein Tetraeder Eine diesem Körper umschriebene Kugelfläche würde die Bahn des Jupiter enthalten (siehe γ). Letztere umschließe mit einem Würfel, die umschriebene Sphäre (α) enthält die Bahn des Saturn (♄). Ferner errichte innerhalb der irdischen Sphäre ein Ikosaeder; die demselben eingeschriebene Kugelfläche enthält die Bahn der Venus (siehe ♀). Beschreibt man innerhalb ihrer Sphäre ein Oktaeder, so umschließt das letztere die Sphäre des Merkur."

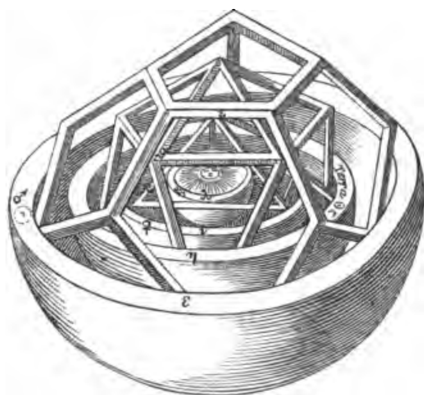


Abb. 23. Kepplers Konstruktion der Planetensphären.

Man würde also eine Aufeinanderfolge von sechs Kugelflächen erhalten, denen die fünf regulären Körper ein- bezw. umgeschrieben sein würden. Die Rechnung ergab, daß die Radien jener sechs Sphären ungefähr den von Kopernikus gefundenen Entfernungen der Planeten entsprachen. Die von Kopernikus ermittelten Werte[1]) wichen indes von der Wahrheit mehr oder weniger ab. Auch wurde die Voraussetzung, daß es sich im Planetensystem um Sphären und somit um kreisförmige Bahnen handele, von Keppler selbst durch die mühevolle Arbeit des nachfolgenden Jahrzehnts widerlegt. Das „Mysterium" blieb daher nichts weiter als ein geistreicher Versuch, dem man jedoch seine Berechtigung keineswegs absprechen darf. Besteht doch die Tätigkeit des Forschers, zumal wenn es sich um einen Fortschritt von grundlegender Bedeutung

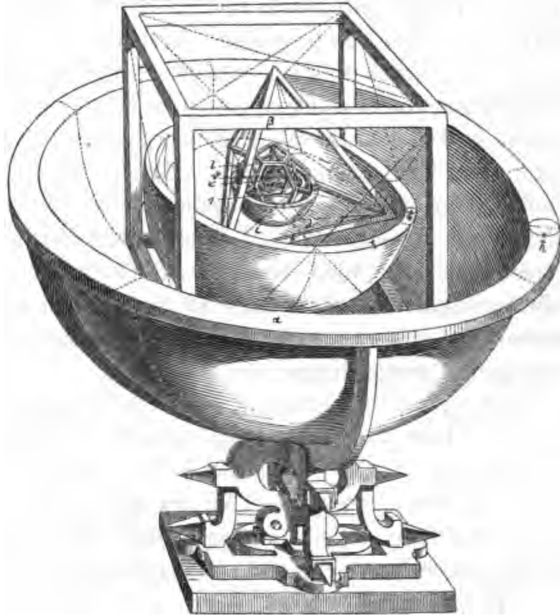


Abb. 24. Kepplers Konstruktion der Planetensphären. Orbium planetarum dimensiones et distantias per quinque regularia corpora geometrica exhibens. α = Sphaera Saturni. β = Cubus. γ = Sphaera Jovis. δ = Tetraëder. ε = Sphaera Martis. ζ = Dodekaeder. η = Orbis Terrae. ϑ = Ikosaeder. ι = Sphaera Veneris. $\varkappa$ = Oktaeder. λ = Sphaera Mercurii. μ = Sol. (Abb. 23 und Abb. 24 sind Kepplers Mysterium cosmographicum entnommen; siehe Opera omnia, Band I.)

1) Die in der Einheit Sonne — Erde ausgedrückten Abstände der Planeten sind nach Kopernikus (und nach neueren Beobachtungen) die folgenden:

0,395	0,719	1,512	5,219	9,174
(0,387)	(0,723)	(1,534)	(5,203)	(9,539)
Merkur	Venus	Mars	Jupiter	Saturn
☿	♀	♂	♃	♄

handelt, in der Aufstellung einer neuen Idee und der sich daran anschließenden Prüfung, ob das gesamte Tatsachenmaterial sich in den Rahmen dieser Idee einfügen läßt. Galileis Verfahren ist kein anderes. Zunächst entwickelt er z. B. aus dem Begriff der gleichförmig beschleunigten Bewegung alle Umstände derselben und zeigt dann durch den Versuch, daß frei fallende, sowie über eine geneigte Ebene unter dem Einfluß der Schwerkraft sich bewegende Körper ein Verhalten zeigen, welches der gedachten Bewegung entspricht. Auch unsere heutige Naturwissenschaft besteht in der Vereinigung von Gedankenerzeugnissen, die sich als Systeme, Hypothesen und Theorien darstellen, mit der Summe des zur Zeit bekannten Tatsachenmaterials. Weder die Gebilde einer nicht genügend gestützten Spekulation noch die Erfahrungstatsachen allein sind Wissenschaft. Letztere geht einzig und allein aus der Verbindung der Idee mit der Beobachtung hervor. Keppler selbst gesteht einmal, er habe 19 Hypothesen aufgestellt und wieder verworfen, ehe er zu der wahren, den Tatsachen entsprechenden Vorstellung vorgedrungen sei.

Kepplers Aufenthalt in Steiermark sollte nicht lange dauern. Der von den Jesuiten erzogene Erzherzog Ferdinand, der spätere Kaiser Ferdinand II., wurde einige Jahre nach der Veröffentlichung des „Mysteriums" Kepplers Landesherr. Als solcher begann er, getreu seinem bei der heiligen Jungfrau geleisteten Schwur, den Protestantismus in seinen Landen mit der Wurzel auszurotten. Wie ein Verbrecher wurde Keppler, der sich in Graz eine glückliche Häuslichkeit gegründet hatte, bei Todesstrafe des Landes verwiesen. Dieses Ereignis, so traurig es für den Betroffenen war, hatte das Gute im Gefolge, daß es ihn in unmittelbaren Verkehr mit Tycho, dem Meister der astronomischen Beobachtungskunst, brachte. Erst dadurch, daß Keppler das Erbe dieses Mannes antrat, ward er in den Stand gesetzt, seine Lebensaufgabe, welche in der Erforschung der Planetenbewegung bestand, zu erfüllen. Bei dieser Bedeutung Tychos erscheint es unerläßlich, einen Blick auf die Persönlichkeit und die wissenschaftlichen Leistungen dieses Mannes zu werfen.

Tycho Brahe[1]) war von schwedischer Herkunft. Er wurde im Jahre 1546 in der Nähe von Helsingborg geboren und

---

1) Ein Bild des Lebens und Schaffens Tychos hat J. L. E. Dreyer geliefert: Tycho Brahe, ein Bild wissenschaftlichen Lebens und Arbeitens im 16. Jahrhundert. Autorisierte deutsche Übersetzung von M. Bruns. XII, 434 S. Karlsruhe, 1894.

entwickelte seit seinem Knabenalter, angeregt durch die Beobachtung einer Sonnenfinsternis und das Studium des Almagest, ein großes Interesse für die Himmelskunde. Auch der hermetischen Kunst war er zugetan. Ja, er hoffte, durch alchemistisches Gold die zum Betreiben astronomischer Forschungen erforderlichen Mittel zu erwerben.

Als Tycho am Abend des 11. Novembers 1572 sein Laboratorium verließ und in gewohnter Weise den Blick auf den ihm wohlbekannten Sternenhimmel lenkte, nahm er einen ungewohnten Glanz in dem Sternbilde der Cassiopeja wahr. Anderen Berichten zufolge hatte man diesen Glanz schon am 6. desselben Monats gesehen, während in den ersten Tagen des Novembers in jener Himmelsgegend noch nichts Auffälliges zu bemerken war. Einen Monat später hatte das neue Gestirn an Glanz den Jupiter fast erreicht. Im März des Jahres 1573 erschien es als Stern erster Größe, darauf nahm es stetig ab. Im Juli 1573 war es den größeren Sternen der Cassiopeja gleich; im Beginn des folgenden Jahres besaß es kaum mehr als 5. Größe, um im März 1574 endlich ganz zu verschwinden.

Die astronomische Welt geriet über dieses Vorkommnis in eine leicht begreifliche Aufregung. Da man der Lehre des Aristoteles zufolge dem Fixsternhimmel ein wandelloses Sein zuschrieb, glaubten die meisten, die erwähnte wunderbare Erscheinung könne nur innerhalb der planetaren Region stattgefunden haben. Daran knüpfte man die unsinnigsten Vermutungen. Nach einigen war das in Frage kommende Gestirn sogar vom Jupiter angesteckt worden. Dem gegenüber wies nun Tycho nach, daß der neue Stern sich jenseits der äußersten Planetensphäre befunden haben müsse, da er von weit entfernten Orten stets in der gleichen Richtung gesehen worden sei. Ein wunderbarer Zufall fügte es, daß die Erscheinung des plötzlichen Aufleuchtens eines Sternes innerhalb des kurzen Zeitraums von 1572—1604 wiederholt vorkam, wodurch den Astronomen die Wichtigkeit genauer Fixsternverzeichnisse besonders nahe gelegt ward.

Über den neuen Stern vom Jahre 1604 hat Keppler einen ausführlichen Bericht geliefert[1]). Er führt aus, der neue im Oktober im Sternbilde der Schlange erschienene Stern habe keinen Lauf, d. h. er verändere seine Stellung zu den Fixsternen nicht.

---

[1]) Bericht über einen ungewöhnlichen neuen Stern, welcher im Oktober 1604 erschienen, gestellt durch Johann Keppler.

Daraus müsse man schließen, daß er „am äußersten Himmel angeheftet sei und nicht wie die Kometen zwischen den Planeten oder gar unter dem Monde gesucht werden dürfe“. „Wollte Gott“, fügt Keppler hinzu, „daß diejenigen, welche ohne Zweifel in großer Zahl ein langes Gewäsch vom Ursprung dieses Sternes machen und in Druck geben werden, zuvor Tychos Ausführungen über den Stern vom Jahre 1572 lesen möchten, damit sie mit so kindischen Gedanken, als sollte dieser Stern von Jupiter oder Mars angezündet worden sein, daheim blieben!“ [1])

Keine andere Wissenschaft ist in solchem Maße durch fürstliche Gunst gefördert worden wie die Astronomie. Mag nun das Interesse für den Gegenstand oder der Glaube, daß in den Sternen das Schicksal geschrieben sei, dabei den Ausschlag gegeben haben. Dies erfuhr auch Tycho. Durch die Gunst seines Königs [2]) ward er in den Stand gesetzt, auf einem zwischen Schonen und Seeland gelegenen Inselchen [3]) eine Sternwarte zu errichten, wie sie die Welt in gleicher Großartigkeit bisher noch nicht gesehen. Diese Warte empfing den Namen Oranienborg und blieb 20 Jahre der Schauplatz der wissenschaftlichen Unternehmungen Tychos, um den sich hervorragende Schüler und Mitarbeiter scharten.

Das größte Verdienst Tychos bestand darin, daß er den astronomischen Messungen einen bis dahin nicht gekannten Grad von Genauigkeit verlieh und auf solche Weise die Grundlage für jeden weiteren astronomischen Fortschritt schuf. Um die Rektascension eines Sternes zu finden, hatte man bisher am Tage den Abstand des Mondes von der Sonne bestimmt und in der darauffolgenden Nacht die Stellung des Mondes mit derjenigen des Sternes verglichen. Eine weit größere Sicherheit wurde nun dadurch erreicht, daß Tycho die Venus, welche auch noch bei Tage sichtbar ist, zu diesem Zwecke anstatt des seine Stellung rasch ändernden Mondes verwertete. Die Unterschiede der Rektascensionen verschiedener Sterne ergeben sich bekanntlich aus der Zeit, welche zwischen ihren Kulminationen verfließt. Ein hierauf sich gründendes Verfahren zur Ortsbestimmung der Gestirne ließ sich indes erst nach Erfindung der Pendeluhr einführen. Doch war das Augenmerk Tychos schon auf eine möglichst scharfe Bestimmung des Zeitablaufs gerichtet. So lange man indes wie er

---

[1]) Bericht über einen ungewöhnlichen neuen Stern, welcher im Oktober 1604 erschienen, gestellt durch Johann Keppler.

[2]) Friedrich II.

[3]) Namens Hven.

auf Sanduhren und auf Räderuhren ohne Pendelvorrichtung angewiesen blieb, war diese wichtige Aufgabe nur unvollkommen gelöst.

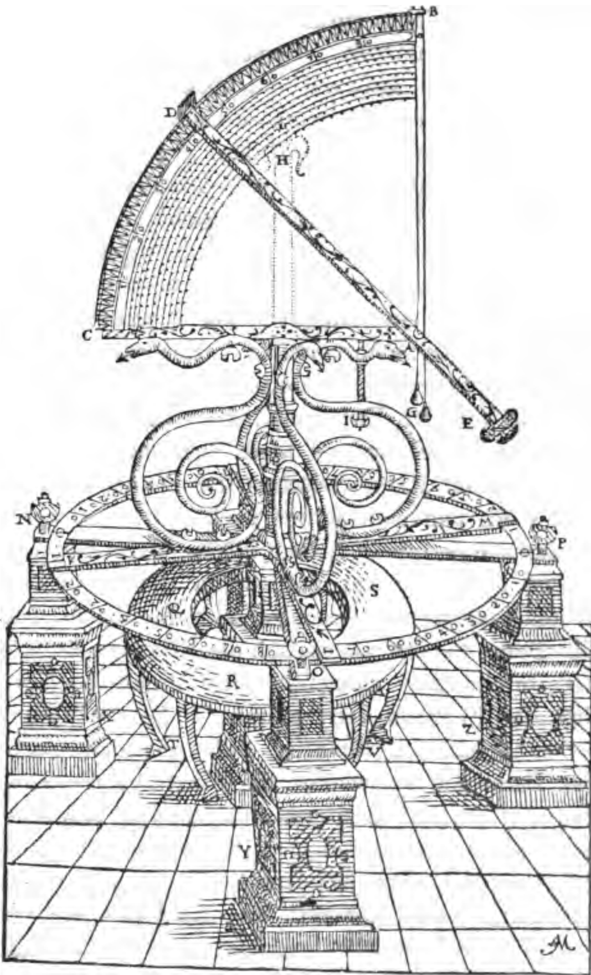


Abb. 25. Tychos Azimutalquadrant, aus dem der heutige Theodolit hervorgegangen ist[1]).
Das aus Messing hergestellte Instrument diente zur Bestimmung des Azimuts und der Höhe. Der Azimutalkreis NP ruhte auf vier Säulen. Der Höhenquadrant besaß fast zwei Ellen Radius und war mit Minuteneinteilung (BC) und Diopterlineal (DE) versehen.

1) Tychonis Brahe, de mundi aetherei recentioribus phaenomenis. liber secundus. Prag 1603. Figur auf Seite 463.

Ganz besonders übertraf Tycho alle Vorgänger in der Genauigkeit der Winkelmessung (siehe Abb. 25). Er ließ eine Himmelskugel aus Kupfer anfertigen, welche etwa 1000 Sterne in der von ihm berichtigten Stellung enthielt. Die Meridiane dieser Kugel waren in Minuten eingeteilt. Dementsprechend erforderte ihre Herstellung auch einen Aufwand von 5000 Talern.

Zur Annahme des kopernikanischen Weltsystems konnte Tycho sich nicht verstehen, weil ihm wie keinem anderen die Schwierigkeiten bekannt waren, welche sich diesem System damals noch entgegenstellten. Eine Bewegung, welche im Laufe eines halben Jahres den Ort der Erde um das Doppelte ihrer Entfernung von der Sonne verändern sollte, schloß Tycho, müsse bei der Genauigkeit seiner Messungen eine entsprechende scheinbare Änderung in der Stellung der Fixsterne hervorrufen. „Eine jährliche Bewegung", schreibt er[1]), „würde die Fixsternsphäre in eine solche Ferne rücken, daß die von der Erde beschriebene Bahn im Vergleich zu jener Entfernung verschwindend klein sein müßte. Hältst Du es für möglich, daß der Raum zwischen der Sonne, dem angeblichen Zentrum der Welt, und dem Saturn noch nicht $^1/_{700}$ des Abstandes der Fixsternsphäre betrage? Zudem müßte dieser Raum sternenleer sein. Dies ist notwendig der Fall, wenn die jährliche Bahn der Erde, von den Fixsternen betrachtet, nur die Größe einer Minute haben soll. Dann werden aber schon die Fixsterne 3. Größe, deren scheinbarer Durchmesser gleichfalls eine Minute beträgt, an Umfang gleich der Erdbahn sein müssen." Der letztere Einspruch Tychos wurde dadurch hinfällig, daß, wie man nach der Erfindung des Fernrohrs wahrnahm, die Fixsterne überhaupt keinen scheinbaren Durchmesser besitzen, sondern dem bewaffneten Auge als bloße Lichtpunkte erscheinen. Dies entsprach ganz der Behauptung der Kopernikaner, daß jene sich in ungeheurer Entfernung von dem Sonnensystem befänden. Der Nachweis der von Tycho geforderten Parallaxe, welche zugleich einen Schluß auf die Entfernung der Fixsterne gestattet hätte, sollte, wie wir später sehen werden, erst im 19. Jahrhundert dem Scharfsinn und der Beobachtungsgabe eines Bessel gelingen[2]).

Außer diesem begründeten astronomischen Bedenken machte sich bei Tycho der kopernikanischen Anschauung gegenüber aber

1) Brief an Rothmann v. 24. 11. 1589. Tychonis Brahe, epistolarum astronomicarum libri. 1610.

2) Siehe Bd. I, S. 346 u. f.

auch ein für jene Zeit charakteristischer Mangel an richtigen mechanischen Begriffen geltend. Tycho erhebt nicht nur den landläufigen Einwand, daß ein fallender Körper, wenn die Erde sich bewege, unmöglich in lotrechter Richtung die Oberfläche treffen könne, sondern er meint auch, die „träge, dicke“ Erde sei zu den Bewegungen, welche Kopernikus ihr zuschrieb, zu ungeschickt.

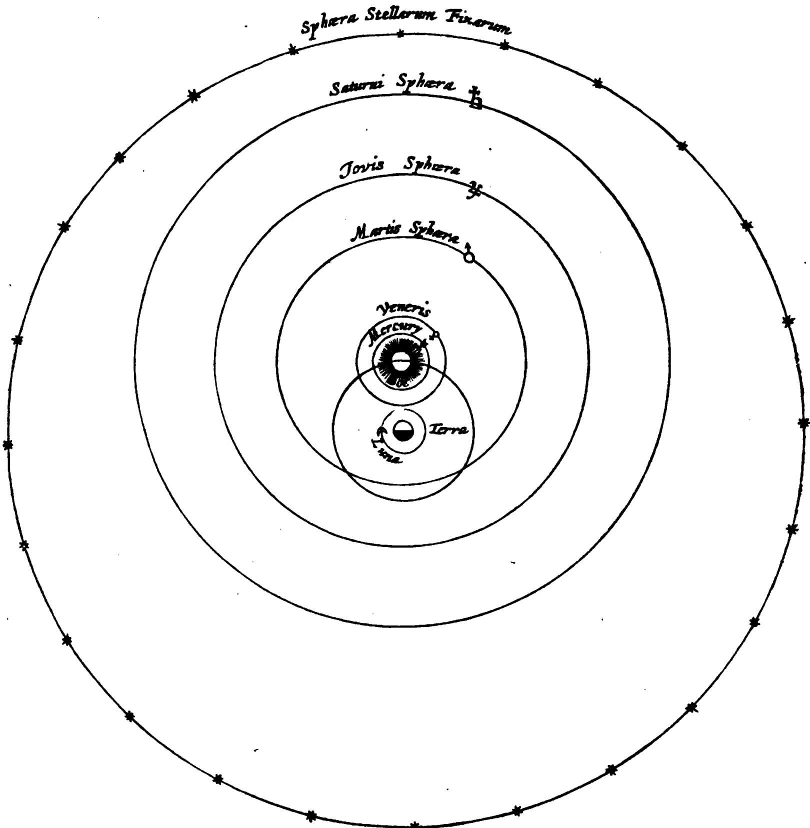


Abb. 26. Tychos System[1]).

Da er andererseits aber fand, daß die Erscheinungen, welche die Planeten darbieten, sich besser mit der Annahme des Kopernikus als mit der älteren geozentrischen Ansicht vereinigen ließen, stellte Tycho[2]) ein neues, nach ihm benanntes System auf, welches

1) Guericke de vacuo spatio. lib. I. Iconismus III.
2) Im Jahre 1587.

zwischen dem geozentrischen und dem heliozentrischen eine vermittelnde Stelle einnahm. Danach sollten sich Sonne, Mond und Fixsterne um die Erde bewegen, die fünf Planeten indes gleichzeitig die Sonne umkreisen (siehe Abb. 26). Dies System fand unter den Zeitgenossen Tychos viele Anhänger; auch Bacon zählte zu ihnen.

Als Tycho auf der Höhe seines Ruhmes stand, ereilte ihn ein trauriges Geschick. Sein hoher Gönner[1] starb, und nun erhoben zahlreiche Feinde und Neider ihr Haupt. Unter anderem hatte Tycho unentgeltlich die Heilkunst ausgeübt und sich dadurch den Haß der Ärzte zugezogen. Auf Betreiben seiner Widersacher[2] wurden ihm die für die Uranienborg bestimmten Einkünfte fast gänzlich entzogen. Eine zum Zweck der Untersuchung eingesetzte Kommission erklärte, Tychos Fleiß sei nicht nur unnütz, sondern sogar „voll schädlicher Kuriosität.“ Dem großen Forscher, dem Bessel den Ehrentitel eines „Königs unter den Astronomen“ gegeben, wurde darauf im Namen des Königs bedeutet, er möge sich mit dergleichen Arbeiten nicht mehr befassen. Damit war das Schicksal der Uranienborg besiegelt. Die traurige Geistesverblendung, welche der kühn aufstrebenden Naturwissenschaft so manchen Schaden zugefügt, hatte damit wieder einen ihrer so unrühmlichen, zum Glück aber auch erfolglosen Siege zu verzeichnen. Tycho, der schließlich sogar tätlichen Angriffen preisgegeben war, rettete von seinen Instrumenten und Aufzeichnungen, was sich retten ließ, und kehrte dem undankbaren Vaterlande den Rücken. Wieder war es fürstliche Gunst, welche ihm und seiner hehren Wissenschaft eine neue Heimstätte bereitete. Einem Rufe Kaiser Rudolfs des Zweiten folgend, siedelte Tycho im Jahre 1599 nach Prag über. Dort wurde er zum Kaiserlichen Astronomen ernannt. Von Prag aus erfolgte noch in demselben Jahre Tychos Ruf an Keppler, dessen Lebensschicksal wir bis zu dem Zeitpunkte verfolgt haben, in welchem religiöse Unduldsamkeit den in gesicherten und glücklichen Verhältnissen lebenden Mann in eine hilflose Lage versetzt hatten. Keppler wurde zunächst Hilfsrechner, erhielt aber die Erlaubnis, das umfangreiche Beobach-

1) Friedrich II. von Dänemark starb 1588.

2) Laplace sagt in seiner Darstellung des Weltsystems (Ausgabe von Hauff), der Name aller derjenigen, welche ihre Gewalt mißbrauchten, um die Fortschritte der Vernunft aufzuhalten, müsse der Verwünschung aller Zeitalter preisgegeben werden. Als Tychos größten Widersacher nennt Laplace (Bd. II, S. 278) den dänischen Minister Walchendorp.

tungsmaterial Tychos auf seine Weise zu verwerten. „Ich halte es“, schrieb Keppler später[1]), „für eine Fügung der Vorsehung, daß bei meiner Ankunft gerade der Mars untersucht wurde. Durch die Bewegungen dieses Gestirnes müssen wir zu den Geheimnissen der Astronomie gelangen oder darin beständig unwissend bleiben.“

Der Mars machte nämlich von jeher unter allen Planeten die größten Schwierigkeiten, was sich daraus erklärt, daß seine Bahn am meisten von dem Kreise abweicht. Daran, daß die Himmelskörper kreisförmige Bahnen besitzen, hatte vor Keppler kein einziger, selbst Kopernikus nicht, gezweifelt. Keppler besaß die Kühnheit, diesen fast als Axiom betrachteten Grundsatz zu verlassen. Zunächst verfiel er auf den Gedanken, ob die Rechnung bessere Resultate unter der Annahme geben würde, daß die Bahn des Planeten die Gestalt eines Ovals besäße. Endlich, als sich eine genügende Übereinstimmung zwischen Theorie und Beobachtung dadurch immer noch nicht erreichen ließ, kam er auf den Einfall, seinen Berechnungen anstatt des Ovals die Ellipse zu grunde zu legen. Und siehe da, während nach den von Kopernikus entworfenen Tafeln der wahre Ort des Mars im Jahre 1608 um nahezu 5 Grade von dem berechneten abwich, zeigte Keppler in seinem ein Jahr später herausgegebenen Hauptwerk „Über die Bewegungen des Mars“[2]), daß die Fehler sich gänzlich beseitigen lassen, wenn man den Planeten eine Ellipse beschreiben läßt, in deren einem Brennpunkt sich die Sonne befindet!

Es gibt kaum eine andere Entdeckung, welche in solchem Grade der Ausfluß mühevoller, Jahrzehnte andauernder Arbeit gewesen ist wie diese Entdeckung Kepplers. In der an Kaiser Rudolf gerichteten Widmung führt Keppler in scherzhaftem Tone, indem er den Kriegsgott Mars in den Fesseln der Rechnung darbringt, folgendes aus. Die Astronomen hätten bislang diesen Feind nicht zu überwältigen vermocht. Dem trefflichen Heerführer Tycho indessen sei es in zwanzigjährigen Nachtwachen gelungen, alle Kriegslisten des Gegners zu erforschen. Dadurch habe Keppler Mut bekommen, und es sei ihm gelungen, Mars gefügig zu machen. Er biete nun dem Kaiser seine Dienste an, auch die Verwandtschaft des Mars, den Jupiter, die Venus und den Merkur, in gleicher Weise zu bezwingen, doch möge man den Schatzmeister anweisen, daß er ihm die Mittel zu diesem Feldzug auszahle.

---

[1]) De motibus stellae Martis, Pars Secunda, Cap. 7.

[2]) De motibus stellae Martis. Prag 1609. Opera omnia ed. Frisch III, 135 ff.

Die letzten Worte dieser Widmung gestatten einen Rückschluß auf die ständige Misere, welche den großen Astronomen bis zum Ende seines tatenreichen Lebens begleitete. Tycho war bald nach Kepplers Übersiedelung gestorben[1]) und letzterer zu seinem Nachfolger ernannt. Die kaiserliche Schatzkammer befand sich indessen stets im Zustande der Erschöpfung, wofür insbesondere die Schar von Goldkochern sorgte, welche Rudolfs Hingabe an die Alchemie weidlich auszunutzen verstanden. Keppler klagt: „Ich stehe ganze Tage in der Hofkammer und bin für die Studien nichts. Ich stärke mich jedoch in dem Gedanken, daß ich nicht dem Kaiser allein, sondern dem ganzen menschlichen Geschlechte diene, daß ich nicht nur für die gegenwärtige Generation, sondern auch für die Nachwelt arbeite."

Nach dem Tode Kaiser Rudolfs wurde Kepplers Lage eher schlimmer als besser; er erhielt eine Anstellung in Linz, wo er Mathematik lehren und Vermessungen überwachen mußte. Trotz aller Widerwärtigkeiten verlor er jedoch sein großes, auf den weiteren Ausbau der Astronomie gerichtetes Ziel nicht aus den Augen. Das unwürdigste Schauspiel, welches uns in der Lebensgeschichte Kepplers begegnet, ist der gegen seine Mutter geführte Hexenprozeß. Eine kurze Darstellung desselben läßt uns nicht nur einen Einblick in den Jammer jener Zeiten tun, sie enthüllt auch den bewunderungswürdigen Charakter Kepplers. Die Mutter des großen Astronomen verbrachte ihre Tage in einem kleinen schwäbischen Städtchen[2]). Eine ihrer Nachbarinnen wurde von einem Leiden befallen und verbreitete das Gerede, sie sei von Frau Keppler behext worden. Der Vogt des Ortes war der letzteren übelgesinnt und verstand es, die Angelegenheit zu einem Hexenprozeß aufzubauschen. In hohem Grade erschwerend wirkte dabei der Umstand, daß die Angeklagte bei einer Tante erzogen worden war, die man später als Hexe verbrannt hatte. Einzig und allein ihrem Sohne Johannes, der von Linz herbeieilte, gelang es, die Mutter vor der Folter und dem Scheiterhaufen zu bewahren. Die übrigen Söhne hatten sich zurückgezogen, und Kepplers juristische Freunde in Tübingen besaßen nicht den Mut, für die arme, verfolgte Frau einzutreten, die bald nach ihrer Freisprechung infolge der erlittenen Behandlung starb. Gibt es unter den Gestalten, in denen menschliche Größe uns entgegentritt, eine solche, der

---

[1]) Am 24. Oktober des Jahres 1601.

[2]) Leonberg.

wir größere Bewunderung zollen können, als Keppler? Die eigene Sicherheit gering schätzend, zieht er gegen den Wust eines mittelalterlichen Gerichtsverfahrens zu Felde, um den tödlichen Brand von dem Haupte der Mutter abzuwenden. Und unter der dadurch verursachten, Jahre währenden Aufregung enthüllt er die Gesetze, nach denen sich der Lauf der Welten regelt!

Unablässig hatte er während der ersten Jahrzehnte des 17. Jahrhunderts neben seiner untergeordneten Amtstätigkeit, die ihn aber nicht einmal vor der Sorge um das tägliche Brot zu schützen vermochte, zwei Aufgaben verfolgt. Einmal galt es, auf Grund der tychonischen, sowie der eigenen Beobachtungen Planetentafeln zu entwerfen, welche die bisherigen an Genauigkeit übertrafen. Die zweite, höhere Aufgabe bestand in der Begründung einer bislang fehlenden Theorie der Planetenbewegung. Beide Aufgaben hat Keppler innerhalb dieses Zeitraumes glänzend gelöst und daneben noch Wertvolles auf dem Gebiete der Mathematik und der Optik geleistet.

Die neuen Tafeln, welche in dankbarer Anerkennung der Verdienste, die sich Kaiser Rudolf um die Förderung des Werkes erworben, die rudolfinischen genannt wurden, erschienen erst gegen das Lebensende Kepplers[1]). Während der letzten Jahre ihrer Abfassung konnte die mühevolle Arbeit durch die Anwendung der von Bürgi und Neper erfundenen Logarithmen verringert werden[2]). Fast ein Jahrhundert blieben die rudolfinischen Tafeln ein geschätztes Hilfsmittel der Astronomen; dann erst wurden sie durch neue ersetzt, welche aus der stetig wachsenden Verbesserung der Methoden hervorgegangen waren.

Während sich Kopernikus darauf beschränkt hatte, eine zum Teil noch mit den Mängeln der geozentrischen Ansicht behaftete bloße Beschreibung des Planetensystems zu geben, war Kepplers ganzes Bestreben darauf gerichtet, gesetzmäßige Beziehungen innerhalb dieses Systems aufzudecken. Das Mißlingen seiner ersten Versuche ist darauf zurückzuführen, daß es ihm noch

---

1) Tabulae Rudolphinae. Ulm 1627. Opera omnia (ed. Frisch), VI, 661.

2) Bürgi, ein Schweizer (1552—1632), und Napier oder Neper, ein Schotte (1550—1617), machten die so wichtige Erfindung der Logarithmen unabhängig voneinander. Bürgi war zuerst Gehilfe an der vom Landgrafen von Hessen unterhaltenen Sternwarte zu Cassel. Später leitete er diese Sternwarte, trat aber nach dem Tode seines fürstlichen Gönners in den Dienst Rudolf des Zweiten über und wurde so zum Mitarbeiter Kepplers.

an genügendem Beobachtungsmaterial fehlte. Erst durch die Verbindung mit Tycho gelangte er in den Besitz desselben. Und im Jahre 1609 veröffentlichte er die Entdeckung, daß die Planetenbahnen Ellipsen sind. Damit war das seit alters geheiligte Axiom von der Kreisbewegung beseitigt. Ebensowenig konnte der Grundsatz, daß die Bewegung der Himmelskörper eine gleichförmige sei, den Tatsachen gegenüber aufrecht erhalten werden. Keppler wies nach, daß ein Planet sich in der Sonnennähe schneller als in der Sonnenferne bewegt. Die Geschwindigkeiten stehen nach ihm in einem solchen Verhältnis, daß die Flächenstücke, welche von einer den Planeten mit dem Zentralkörper verbindenden Linie beschrieben werden, für gleiche Zeiten gleiche Größen besitzen (siehe Abb. 27). Damit waren die Gesetze, nach denen die Bewegung jedes einzelnen Planeten vor sich geht, enthüllt[1]). Es galt noch die Beziehung aufzudecken, welche die an allen Planeten wahrgenommenen Erscheinungen verknüpft und diese Körper als ein gesetzmäßig verbundenes System erscheinen läßt. Die Lösung dieses Problems wurde erst nach mehr als zwanzigjährigen Mühen gefunden und 1619 in den „Harmonices mundi“ bekannt gegeben.

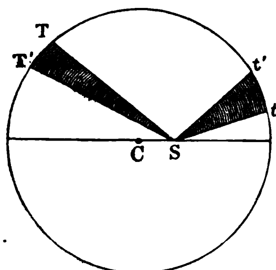


Abb. 27[2]). Zur Erläuterung des zweiten kepplerschen Gesetzes. Werden die Stücke tt_1 und TT_1 von dem Planeten in gleichen Zeiten zurückgelegt, so ist tt_1S der Fläche nach gleich TT_1S.

Seit dem Jahre 1595 brütet Keppler, wie er selbst sich einmal ausdrückt, mit der ganzen Kraft seines Geistes über die Einrichtung des kopernikanischen Systems. Unablässig sucht er von drei Dingen die Ursache zu ergründen, nämlich von der Anzahl, der Entfernung und der Bewegung der Planeten[3]). Endlich kann er ausrufen: „Dasjenige, dem ich den größten und besten Teil meines Lebens geopfert habe, ist jetzt gefunden und die Wahrheit auf eine Weise erkannt, die selbst meine glühendsten Wünsche übersteigt[4]).“ Die unter dem Namen des dritten kepplerschen Gesetzes bekannte Beziehung zwischen der Umlaufszeit und der Entfernung zweier Planeten lautet dahin, daß

1) De motibus stellae Martis, Cap. 59 (Opera, edit. Frisch, Bd. III).
2) Müllers Lehrbuch der kosmischen Physik. 5. Auflage, Seite 119.
3) Opera omnia (ed. Frisch) I, 106.
4) Im fünften Buch der Harmonices mundi.

die Quadrate der Umlaufszeiten sich wie die Kuben der mittleren Abstände von der Sonne verhalten[1]). Besitzt z. B. ein Planet eine Umlaufszeit von 27 Jahren, so läßt sich aus diesem Gesetze folgern, daß sein Abstand das Neunfache der Entfernung der Erde von der Sonne beträgt, denn $1^2 : 27^2 = 1 : 729 = 1^3 : 9^3$. Dies Verhältnis findet sich beim Saturn annähernd verwirklicht. Er hat eine Umlaufszeit von 30 Jahren, und seine Entfernung wird dementsprechend etwas größer als neun Sonnenweiten gefunden. Wir erkennen aus dieser Betrachtung, daß die genaue Bestimmung der Sonnenweite, d. h. des Abstandes unserer Erde von dem Zentralkörper, von fundamentaler Bedeutung ist. Zur Zeit Kepplers war die absolute Größe dieses Abstandes noch nicht bekannt, Keppler setzt ihn in seinen Berechnungen gleich eins, findet also für die Entfernungen der Planeten nur die relativen Werte.

Die naheliegende Gefahr, die entdeckten geometrischen und arithmetischen Gesetze im pythagoreischen Geiste als Ursachen zu betrachten, vermied Keppler. Verstehen wir unter dem Auffinden der Ursache einer Erscheinung ihre Zurückführung auf andere in ihrer Gesetzmäßigkeit erkannte Vorgänge, so finden wir Keppler schon eifrig bemüht, auch nach dieser Seite hin das Problem der Planetenbewegung zu lösen. Die endgültige Bewältigung blieb jedoch Newton vorbehalten, dem es gelang, die Zentralbewegung gleich der Fall- und Wurfbewegung auf die allgemeine Eigenschaft der Schwere zurückzuführen. Daß die letztere nicht nur an der Oberfläche der Erde, sondern auf kosmische Entfernungen wirkt, findet sich indessen schon bei Keppler ausgesprochen. Seiner Ansicht nach würden zwei Körper, auf welche kein dritter wirkt, aufeinander zueilen und sich vereinigen; und zwar würden sich, wie er ganz richtig ausführt, die zurückgelegten Wege umgekehrt wie die Massen verhalten. „Würden Mond und Erde sich nicht im Umlaufe befinden, so stiege die Erde nach dem Monde um den 54. Teil des Zwischenraumes, der Mond würde sich um die übrigen 53 Teile senken. Dann würden sie aufeinander treffen, vorausgesetzt, daß beide gleiche Dichte besäßen[2]).“

---

1) Opera omnia V, 279.

2) Da sich die Massen bei gleicher Dichte wie die Volumina verhalten. In Wahrheit beträgt das Volumen der Erde das 50fache von dem des Mondes, während sich die Dichten beider Weltkörper wie 1 : 0,6 verhalten. Die betreffende Stelle findet sich in Kepplers Astronomia nova (Opera omnia III, 151).

Zu einer Erklärung der Planetenbewegung konnte man jedoch erst dann gelangen, als man das Gesetz der Trägheit in seinem vollen Umfange, d. h. ausgedehnt auf Körper, welche sich in Bewegung befinden, auf diesen Vorgang anwandte, wie es Galilei bezüglich der Wurfbewegung getan. Keppler ging nämlich von der irrigen Voraussetzung aus, daß die Planeten zu ihrer Bewegung um die Sonne eines fortgesetzten tangentialen Antriebes bedürften. Dieser sollte in der Sonnenrotation gegeben sein, welche Keppler schon als Erklärungsprinzip forderte, bevor ihr Vorhandensein durch die Beobachtung dargetan war. Drehte sich die Sonne nicht um ihre Achse, so würden nach Kepplers Ansicht die Planeten diesen Zentralkörper nicht umkreisen, sondern auf ihn stürzen, während doch in der Tat die Sonnenrotation aufhören könnte, ohne daß die Bewegungen der Planeten eine Änderung erführen. Zu erklären blieb dann noch die ungleiche Dauer, welche die Umläufe beanspruchen. Keppler äußert sich darüber mit folgenden Worten: „Hätten die Planeten nicht eine natürliche Renitenz, so ließe sich keine Ursache angeben, warum sie nicht der Umwälzung ihres Bewegers aufs genaueste folgen sollten. Nun aber gehen zwar alle nach der Richtung, nach welcher die Sonne rotiert, aber der eine immer langsamer als der andere. Sie vermengen also nach gewissen Verhältnissen mit der Geschwindigkeit des Bewegers die Trägheit ihrer eigenen Materie[1].“ Diese bewegende Kraft der Sonne wird von Keppler als eine Art Magnetismus betrachtet. Er beruft sich dabei auf Gilbert, der ja auch die Erde als einen Magneten angesehen habe. Wie der Magnet die Nadel, so soll nach ihm die Sonne die Erde herumführen. Von dem Lichte weiß Keppler, daß die Intensitäten sich umgekehrt wie die Quadrate der Entfernungen verhalten. Er wirft sogar die Frage auf, warum die Wirkungen jener bewegenden Kraft der Sonne sich nicht ebenso verhalten, streift damit also nahe an die Entdeckung des Weltgesetzes.

Nachdem die Astronomie durch die Forschungen von Kopernikus und Keppler eine andere Gestalt gewonnen, bedurfte es einer zusammenhängenden neuen Darstellung des gesamten Lehrgebäudes. Dieser Aufgabe unterzog sich Keppler durch die Herausgabe seiner Epitome astronomiae Copernicanae[2]. Damit

---

1) Nach einem von Kästner in seiner Geschichte der Mathematik, Bd. IV, 360 mitgeteilten Auszug der Epitome Copernicanae Kepplers.

2) Erschien 1618—1621 in Linz und Frankfurt (Opera omnia VI, 113 ff.).

erschien das erste astronomische Lehrbuch, welches das kopernikanische System zu grunde legte, fast hundert Jahre nach der Aufstellung des letzteren.

Das Jahr 1619, in welchem Keppler durch die Veröffentlichung des dritten Gesetzes der Planetenbewegung sein Lebenswerk krönte, war für die spätere Gestaltung seiner äußeren Lage kein günstiges. In diesem Jahre kam nämlich der fanatische Ferdinand II. auf den Kaiserthron. Die Verfolgungen der Protestanten mehrten sich. Schließlich fühlte sich auch Keppler dazu gedrängt, seine dürftige Stelle in Linz aufzugeben. Von diesem Zeitpunkte, dem Jahre 1626, an führte der schon alternde Mann ein sorgenvolles, unstätes Leben. Er hatte an rückständigem Gehalt von der kaiserlichen Hofkasse nicht weniger als 12000 Gulden zu fordern. Man entledigte sich des unbequemen Mahners, indem man jene Schuld auf den zum Herzog von Mecklenburg ernannten Wallenstein übertrug. Dieser suchte Keppler wieder mit einer Professur in Rostock abzuspeisen, welche letzterer jedoch nicht annahm. Nach dem Sturze Wallensteins begab sich Keppler im Jahre 1630 nach Regensburg, um dort auf dem Reichstage seine Forderung geltend zu machen. Den ausgestandenen Strapazen und Aufregungen war sein geschwächter Körper jedoch nicht mehr gewachsen. Er erlag ihnen bald nach seiner Ankunft in Regensburg am 15. November 1630. Die wohlverdiente letzte Ruhestätte hat man ihm vor den Toren dieser Stadt bereitet. Zwei Jahre später tobte die Furie des dreißigjährigen Krieges über Kepplers Grab, wodurch jede Spur desselben verwischt wurde.

Nach dieser Darstellung des Lebensganges und der astronomischen Leistungen Kepplers wollen wir seine Verdienste um die Optik und die Mathematik, die wichtigsten Hilfswissenschaften der Astronomie, ins Auge fassen. Die Ergebnisse seiner optischen Untersuchungen hat Keppler in zwei Werken niedergelegt, von denen das eine unter dem Titel „Supplemente zum Vitellio"[1]) die gesamte Lehre vom Lichte berücksichtigt, während sich das zweite, die Dioptrik[2]), vorzugsweise mit der Brechung beschäftigt. Was Euklid im Altertum und in späterer Zeit Alhazen auf dem Gebiete der Optik geleistet haben, wird bei weitem übertroffen durch die grundlegenden, in den genannten Werken enthaltenen

1) Ad Vitellionem Paralipomena. Frankfurt 1604 (Gesamtsausgabe von Frisch II, 119).

2) Joannis Kepleri Dioptrice. Augsburg 1611 (Gesamtausgabe von Frisch II, 515).

Untersuchungen Kepplers. Daß der letztere mit dem Hauptgesetz der Photometrie vertraut war, haben wir in der Erörterung seiner astronomischen Ansichten[1]) bereits erfahren. Keppler hat dieses wichtige Gesetz zuerst in voller Klarheit entwickelt[2]).

Von besonderem Interesse mußte für den Astronomen das Problem der Brechung sein, an dem sich schon das Altertum mit einigem Erfolg versucht hatte. Beruhte doch auf dieser Erscheinung die astronomische Refraktion, deren genaue Bestimmung für die beobachtende Astronomie sehr wichtig war, sowie die Konstruktion des Fernrohrs, um dessen Verbesserung, wie wir sahen, Keppler sich gleichfalls verdient gemacht hatte.

Beim Messen der Brechung verfuhr Keppler folgendermaßen. Er bestimmte die Schattenlänge von BE (siehe EH in Abb. 28)

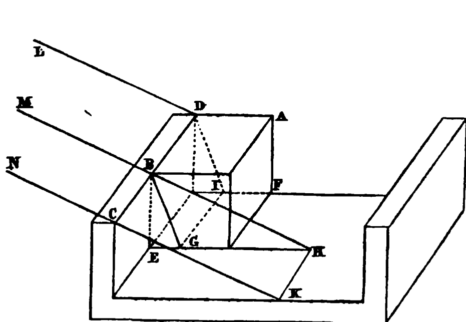


Abb. 28. Kepplers Verfahren, den Brechungswinkel zu bestimmen[3]).

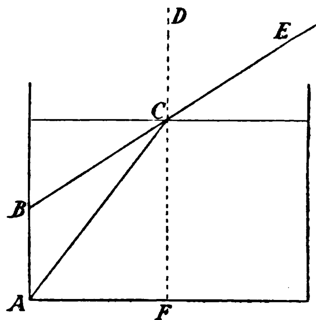


Abb. 29. Snellius entdeckt das Brechungsgesetz.

und schob dann einen Würfel der zu untersuchenden Substanz gegen die senkrechte Platte BDE. Infolge der Brechung des Lichtes tritt dann eine Verkürzung des Schattens um das Stück GH ein, aus deren Größe man das Verhältnis zwischen dem Einfalls- und dem Brechungswinkel berechnen kann. Dabei machte Keppler die Entdeckung, daß ein durch Glas gehender Lichtstrahl, dessen Einfallswinkel an der Grenze zwischen Glas und Luft größer ist als 42°, nicht in die Luft tritt, sondern an der Grenze beider Medien nach dem Gesetz der Reflexion total zurückgeworfen wird[4]).

1) Siehe Seite 170 ds. Bds.

2) Ad Vitellionem Paralip. Cap. I, Prop. IX. (Edit. Frisch. II, 113).

3) Kepplers Dioptrice, Figur zu Problema IV (Editio Frisch II, 528).

4) Dioptrice, XIII. Propositio (Edit. Frisch II, 530): Nullus radius, qui intra corpus crystalli super unam ejus superficiem plus 42° inclinatur a vertice, poterit illam superficiem penetrare.

Trotz zahlreicher Messungen der Einfalls- und der zugehörigen Brechungswinkel waren die Bemühungen Kepplers, eine gesetzmäßige Beziehung zwischen beiden Größen zu finden, nicht von Erfolg gekrönt. Erst Snellius entdeckte (Abb. 28), daß der Weg (CA) eines Lichtstrahls, der aus Luft in Wasser tritt und auf eine senkrechte Wand fällt, sich zu dem Wege (CB), den derselbe Strahl ohne Ablenkung von seiner Eintrittsstelle bis zu jener Wand zurückgelegt haben würde, stets wie 3 : 2 verhält. Mit dem heute gebräuchlichen Ausdruck für dieses Gesetz, nach welchem der Sinus des Einfallswinkels (DCE) zum Sinus des Brechungswinkels (ACF) in einem bestimmten Verhältnis steht (für Luft und Wasser = 3 : 2), war Snellius noch nicht vertraut[1]). In diese Form wurde das Brechungsgesetz erst durch den französischen Philosophen und Mathematiker Descartes[2]) gebracht.

Besondere Verdienste hat sich Keppler um die Theorie des Sehens erworben, indem er die Netzhaut für denjenigen Teil des Auges erklärte, welcher das von der Linse erzeugte Bild auffängt. Er meint, es müsse daher nach Fortnahme der undurchsichtigen äußeren Häute des Auges auf der Netzhaut ein umgekehrtes, verkleinertes Bild des Gegenstandes zu sehen sein, eine Annahme, welche später Scheiner[3]) durch den Versuch bestätigte.

Auch die Kurzsichtigkeit und die Übersichtigkeit wurden von Keppler zuerst erklärt. Bei einem kurzsichtigen Auge schneiden sich, wie er ausführt, die von jedem Punkte eines Gegenstandes

---

1) Der von Snellius gefundene Ausdruck läßt sich leicht in den gebräuchlichen umwandeln. Man geht von der oben gegebenen Abb. 29 aus und schlägt um C einen Kreis mit CA als Einheit (siehe Abb. 30). Dann ist $\sin\alpha$ (Einfllsw.) = DE und $\sin\beta$ (Brchgsw.) = AF, ferner ist AC : CB = $\sin(90-\alpha) : \sin\beta = \sin\alpha : \sin\beta$ = DE : AF. Ist nun AC : CB konstant, und zwar für Luft und Wasser gleich 3 : 2, so gilt dasselbe von $\sin\alpha : \sin\beta$, da wir diesen Ausdruck gleich AC : CB gefunden haben.

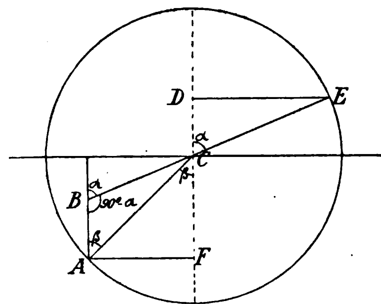


Abb. 30. Ableitung des Brechungsgesetzes.

2) Descartes Dioptrik, Kapitel 2. Näheres über Descartes' Anteil an der Entdeckung des Brechungsgesetzes siehe in der bezüglichen Abhandlung von P. Kramer (Abhandlungen zur Geschichte der Mathematik. 4. Heft. 1882).

3) Siehe Seite 150 ds. Bds.

ausgehenden Strahlen schon innerhalb des zwischen Linse und Netzhaut befindlichen Glaskörpers. Sie breiten sich hinter ihrem Durchschnittspunkte wieder kegelförmig aus und geben daher auf der Netzhaut Lichtkreise an Stelle von Lichtpunkten. Ähnlich verhält sich das übersichtige Auge, welches die Strahlen nicht stark genug bricht, so daß die Spitzen der Strahlenkegel hinter der Netzhaut liegen[1]).

Da mit der Entfernung des Gegenstandes auch der Abstand des Bildes von der Linse sich ändert, so blieb noch zu erklären, durch welchen Vorgang ein normales Auge in die Lage gesetzt wird, die Bilder entfernter und naher Gegenstände mit gleicher Schärfe wahrzunehmen. Keppler war der Meinung, daß diese Akkommodation entweder durch eine Annäherung und Entfernung der Linse in bezug auf die ihre Lage beibehaltende Netzhaut oder durch eine entsprechende Bewegung der letzteren geschieht[2]), während Descartes der später als richtig erkannten Ansicht zuneigte, daß die Linse infolge der Muskeltätigkeit des sie umgebenden Strahlenkörpers bald mehr, bald weniger gekrümmt sei[3]).

Descartes und Keppler waren ferner der Meinung, daß das Licht zu seiner Fortpflanzung keine Zeit beanspruche. Ersterer stützte sich dabei nicht ausschließlich auf die Wahrnehmung irdischer Vorgänge, sondern zog auch astronomische Erscheinungen zur Entscheidung dieser Frage in Betracht. Da er jedoch nur solche ins Auge faßte, die sich bei den Verfinsterungen des Mondes abspielen, so konnte sich bei der verhältnismäßig geringen Entfernung dieses Weltkörpers, welche das Licht in einer Sekunde durcheilt, nur ein negatives Resultat ergeben[4]).

Die Entdeckungen Galileis und Kepplers sind in erster Linie auf eine erfolgreiche Anwendung der Mathematik auf physikalische und astronomische Probleme zurückzuführen. Dazu trat bei Galilei insbesondere der Drang, die durch Deduktion gewonnenen Ergebnisse durch sinnreich ausgedachte Versuche auf den Rang naturwissenschaftlicher Wahrheiten zu erheben. Der Fortschritt in der von Galilei und Keppler eingeschlagenen Richtung war daher nicht zum geringsten an die weitere Entwicklung

---

1) Ad Vitellionem Paralipomena. Frankfurt 1604. Cap. V. Propos. XXVIII (Edit. Frisch II, 255).

2) Keppler Dioptrice, LXIV. Propositio (Ed. Frisch II, 540).

3) Siehe Wilde, Geschichte der Optik I, 254.

4) Siehe Ostwalds Klassiker d. exakt. Wiss. Nr. 20, Seite 12 und 13.

der Mathematik geknüpft. Letztere nahm denn auch in diesem Zeitalter unter der Mitwirkung der bedeutendsten Naturforscher einen kräftigen Aufschwung, welcher in der nachfolgenden Periode durch die Tätigkeit eines Newton, Leibniz und Huygens eine Fortsetzung erfuhr.

In dem Maße, in welchem die Genauigkeit der astronomischen Beobachtungen wuchs, war auch die Berechnung der Ergebnisse zeitraubender und mühseliger geworden, so daß man das dringende Bedürfnis empfand, an die Stelle des Multiplizierens und Dividierens großer Zahlen eine Vereinfachung treten zu lassen. Dies geschah denn auch durch Einführung der Logarithmen, welche jene Operationen auf das so viel schneller zu bewerkstelligende Addieren und Subtrahieren zurückführen. Zur Berechnung astronomischer Tafeln hat Keppler die Logarithmen, welche nach einem Ausspruch von Laplace die Arbeit von Monaten auf Stunden abkürzen und auf solche Weise das Leben des Astronomen verlängern, zum erstenmal im Jahre 1620 angewandt.

Einige Jahrzehnte später erschien das Werk von Descartes, in welchem die Grundlagen für eine analytische Geometrie der Ebene gegeben wurden[1]. Descartes zeigte, daß jede gesetzmäßig entstandene Kurve auf eine Gleichung zurückgeführt werden kann, aus welcher sämtliche Eigenschaften der Kurve durch Rechnung abzuleiten sind.

In den Anfang des 17. Jahrhunderts fallen auch die ersten Schritte zur Begründung einer mathematischen Methode, deren weitere Ausgestaltung zu einem der mächtigsten Hilfsmittel der Naturforschung Newton und Leibniz vorbehalten blieb. Es ist dies die Infinitesimalrechnung. Unter den Männern, welche hier als Vorläufer genannt werden müssen, nimmt Keppler neben dem Italiener Cavalieri, einem Schüler Galileis, die erste Stelle ein. Schon die Alten, insbesondere Archimedes, hatten die Bemerkung gemacht, daß gewisse geometrische Aufgaben mit den Mitteln der Elementarmathemathik nicht gelöst werden können. Dies hatte auf die Anwendung eines unter dem Namen der Exhaustionsmethode bekannten Verfahrens geführt, vermittelst dessen z. B. Archimedes[2] die Quadratur der Parabel gelang. Auch die gleichfalls von Archimedes angestellte Berechnung des Kreisumfangs mit Hilfe der ein- und umgeschriebenen Vielecke zeigt

[1]) Descartes Geometrie erschien 1637. Eine deutsche Bearbeitung lieferte Schlesinger. Berlin 1894.

[2]) Archimedes (ed. Nizze) Seite 12—25.

uns, wie man schon im Altertum, wenigstens auf Umwegen, die Rektifikation einer Kurve vorzunehmen verstand[1]).

Der weitere Fortschritt der Astronomie und der Mechanik war nun an die Entwicklung einer Methode geknüpft, welche eine allgemein gültige Lösung für die Ausmessung von Kurven, der von Kurven eingeschlossenen Flächen, sowie durch Bewegung solcher Flächen entstandener Körper ermöglichte. Wie wichtig mußte es z. B. für Keppler sein, den Umfang der Ellipse aus der großen (a) und der kleinen (b) Achse berechnen zu können. Er hat sich auch hieran versucht und gibt den Wert für diesen Umfang als nahezu gleich π (a + b) an[2]).

Für die Bestimmung des Rauminhalts von Rotationskörpern lieferte Keppler die Grundlage in seiner Doliometrie[3]) oder Faßberechnung. Lagrange hat später von diesem Werke gesagt, daß es in ähnlicher Weise wie die Sandesrechnung des Archimedes an einem gewöhnlichen Gegenstande die erhabensten Gedanken entwickle. Ein besonderer Umstand war für Keppler die Veranlassung gewesen, seine Betrachtungen gerade an die Ausmessung von Fässern anzuknüpfen. Er hatte nämlich beim Einkauf von Wein beobachtet, daß der Händler den Inhalt des Fasses bestimmte, indem er einen Meßstab durch den Spund bis zu den gegenüber befindlichen Dauben führte und auf die Krümmung der letzteren keine Rücksicht nahm. Ein dem Fasse entsprechender Körper wird entstehen, wenn eine gewisse Fläche um eine Achse rotiert. Kepplers Grundgedanke bestand nun darin, derartige Rotationskörper in eine große Anzahl von Elementarteilen (siehe Abb. 31) zu zerlegen und diese zu summieren, eine Untersuchung, welche in der Doliometrie auf etwa 90 Fälle ausgedehnt wird.

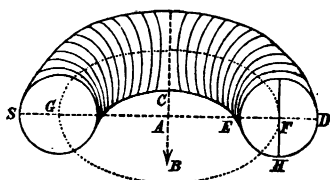


Abb. 31. Kepplers Kubatur des Ringes (Opera omnia. IV, pg. 575).

So zerlegt er den Kegel in unendlich viele Pyramiden, deren Grundflächen mit der Grundfläche des Kegels zusammenfallen. Der Cylinder wird in unendlich viele Prismen zerlegt und so fort.

1) l. c. Seite 110—115.

2) De motibus stellae Martis: Cap. 59, 5. Opera Kepplėri (ed. Frisch) III, 401.

3) Nova Stereometria Doliorum vinariorum. Linz 1615. Opera omnia (ed. Frisch) IV, 555 ff.

Diese Zerlegung in Elementarteile dehnte der Italiener Cavalieri (1598—1647) in seinen „Indivisibilien“ [1]) auf sämtliche geometrischen Gebilde aus, indem er die Linien auf Punkte, die Flächen auf Linien und die Körper auf Flächen zurückführte. Wie sich diese neue mathematische Methode auf die Lösung physikalischer Probleme anwenden läßt, zeigten Stevins grundlegende Arbeiten über die Mechanik der Flüssigkeiten. In dem Niederländer Stevin (1548—1620) tritt uns ein Mann entgegen, welcher auf dem erwähnten Gebiete eine ähnliche Bedeutung besitzt, wie sie Galilei als Begründer der Dynamik erlangt hat. Unter anderem handelt es sich bei Stevin um die Bestimmung des Druckes, den ein rechteckiges Stück der Seitenwand eines mit Wasser gefüllten Gefäßes auszuhalten hat [2]). Stevin zerlegt dieses Rechteck durch horizontal verlaufende Linien in eine Summe von kleineren Rechtecken. Das oberste Stück empfängt einen Druck, der größer ist als der Druck eines Wasserprismas von der Grundfläche g und der Höhe h, indes geringer als der Druck eines Prismas von der gleichen Grundfläche und der Höhe h_1. Dieselbe Betrachtung ergibt sich für alle übrigen Rechtecke. Stevin erhält dann durch Summierung einen Gesamtdruck, welcher zu groß, und durch eine zweite Summierung einen Gesamtdruck, welcher zu klein ist. Beide Summen nähern sich, wenn man die Streifen immer schmäler nimmt, derselben Grenze. Von Stevin rührt auch der Nachweis des hydrostatischen Paradoxons her [3]), d. h. des Satzes, daß der Bodendruck einzig von der Größe der gedrückten Fläche und der Höhe der Flüssigkeitssäule und nicht von der Gestalt des Gefäßes abhängt (siehe Abb. 34). Den aufwärts gerichteten Druck wies Stevin nach, indem er eine Bleiplatte G (siehe Abb. 33) gegen eine beiderseits offene Röhre EF legte und das von dieser Platte

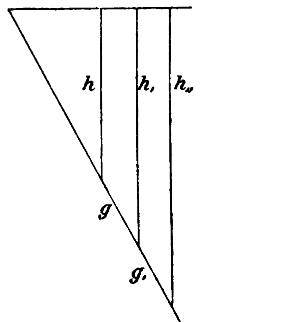


Abb. 32. Stevins Ableitung des Seitendruckes.

1) Geometria indivisibilibus continuorum nova ratione promota. 1635.

2) Stevins Werke, Les oeuvres mathématiques de Simon Stevin, herausgegeben von Girard, Leyden 1634. Des éléments hydrostatiques; Théorème IX. pg. 488—491. Die betreffende Untersuchung hat Stevin im Jahre 1608 veröffentlicht (S. Cantor, Geschichte der Mathematik II, 533).

3) Stevins Werke, Seite 499. V. Buch der Statik.

bedeckte Ende in das Wasser hinabsenkte. Die Platte fällt bei diesem Versuche bekanntlich nicht ab, sondern wird durch den aufwärts gerichteten Druck der Flüssigkeit gegen das offene Ende der Röhre gepreßt.

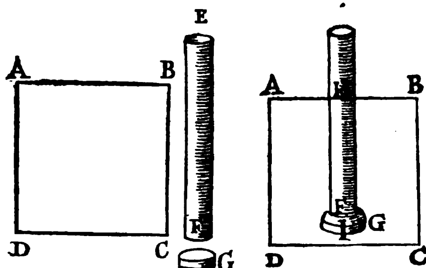


Abb. 33. Stevins Nachweis des aufwärts gerichteten Druckes[1].

Auch die von Galilei ins Leben gerufene italienische Schule dehnte ihre Untersuchungen auf die Mechanik der flüssigen und gasförmigen Körper aus. In erster Linie ist hier Galileis hervorragendster Schüler Toricelli (1608—1647) zu nennen. Die im Jahre 1644 erschienene Abhandlung Toricellis über ausströmende Flüssigkeiten[2]) ist für dies Gebiet von grundlegender Bedeutung geworden. Toricelli lieferte darin den Nachweis, daß der aus einer seitlichen Öffnung austretende Flüssigkeitsstrahl die Form einer Parabel annimmt und daß seine Geschwindigkeit, mithin auch die ausfließende Wassermenge, zu der Höhe der über der Öffnung befindlichen Flüssigkeitssäule in einem bestimmten Verhältnis steht. Für die vierfache Druckhöhe ergab sich die doppelte, für die neunfache Druckhöhe dagegen die dreifache Geschwindigkeit, oder es verhielten sich die Geschwindigkeiten wie die Quadratwurzeln aus den Druckhöhen[3]).

Anknüpfend an die von Galilei in seinen „Unterredungen" erwähnte Beobachtung[4]), daß das Wasser dem Kolben einer Saugpumpe nur bis zu einer Höhe von 18 italienischen Ellen (10 m) folgt, untersuchte Toricelli, wie weit denn das Quecksilber, eine Flüssigkeit, welche etwa 14 mal so schwer ist wie das Wasser, von dem vermeintlichen Horror vacui emporgehoben wird. Der zuerst von Viviani angestellte Versuch zeigte, wie Toricelli vorausgesehen, daß die

---

1) Stevins Werke, Seite 500, Fig. 2 und 3.

2) Opera geometrica. Florenz 1644, 3. Abschnitt: De motu gravium naturaliter descendentium.

3) $v = \sqrt{2gh}$, $v_1 = \sqrt{2gh_1}$, $v : v_1 = \sqrt{h} : \sqrt{h_1}$. Mit der Formel $v = \sqrt{2gh}$ war Toricelli noch nicht bekannt; sie rührt von Johann und Daniel Bernoulli her.

4) Siehe Ostwalds Klassiker Nr. 11, Seite 17.

Steighöhe in demselben Maße geringer ist, wie das spezifische Gewicht des Quecksilbers dasjenige des Wassers übertrifft. Beide Freunde führten den so überaus wichtigen Versuch in der in Abb. 35 dargestellten Weise aus. Sie nahmen ein kugelförmig

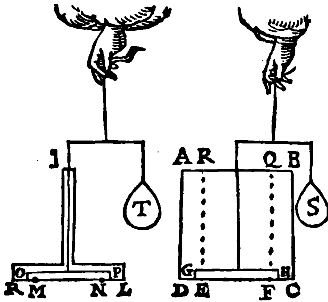


Abb. 34. Stevins Nachweis des hydrostatischen Paradoxons[1]). ABCD ist ein mit Wasser gefülltes Gefäß, in dessen Boden sich eine runde Öffnung EF befindet, welche mit einer hölzernen Scheibe bedeckt ist. IKL ist ein zweites Gefäß von derselben Höhe wie das vorige und mit einer gleichgroßen Öffnung im Boden. Diese Öffnung sei gleichfalls durch eine Holzscheibe von demselben Gewicht wie die vorige geschlossen. Man findet dann durch den Versuch, daß die Scheiben nicht emporsteigen, sondern gegen die Öffnungen gepreßt werden; und zwar werden sie denselben Druck empfangen. Dies läßt sich nachweisen, indem man die gleichen Gewichte T und S anbringt, welche ebenso schwer sind wie die über der Scheibe GH befindliche Wassersäule ERQF (Stevins Werke, Seite 499).

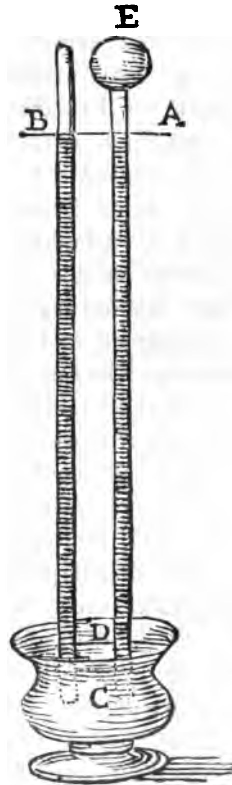


Abb. 35. Toricellis Versuch[2]) (Toricelli, Esperienza dell Argento Vivo; siehe Anm. 1 der nächsten Seite).

erweitertes Rohr von 2 Ellen Länge, füllten es mit Quecksilber und kehrten es in einem mit Quecksilber gefüllten Gefäße um, indem sie das offene Ende mit dem Finger verschlossen hielten. Nachdem der Verschluß aufgehoben, sank die Flüssigkeit und

---

1) Stevins Werke, Seite 499, Fig. 4.

2) Der Toricellische Versuch wurde zum erstenmal im Jahre 1643 ausgeführt.

blieb in einer Höhe von 1 1/2 Ellen in der Schwebe. Das Vakuum, das sich bei diesem Versuche über dem Quecksilber bildet, erhielt den Namen der toricellischen Leere. Der Apparat selbst wurde in der Folge als Barometer bezeichnet, da, wie schon Toricelli hervorhob, die Höhe der Quecksilbersäule der Größe des Luftdruckes entspricht[1]). Die Schwankungen, welche man an diesem Instrument beobachtet, führte Toricelli dementsprechend auf gleichzeitige Änderungen des Druckes zurück. Der Horror vacui war damit als Erklärungsgrund verworfen. Dieses Prinzip war jedoch dermaßen eingewurzelt, daß erst die überzeugende Kraft, die den Versuchen Pascals und Guerickes innewohnte, es aus der Physik dieses Zeitalters gänzlich verschwinden ließ.

Mit dem Gedanken, welcher den Franzosen Pascal (1623 bis 1662) leitete, ist der Leser bereits durch die im I. Bande wiedergegebenen Ausführungen dieses Forschers bekannt geworden. Ist es der Luftdruck und nicht der mystische, von den Peripatetikern angenommene Horror vacui, der das Quecksilber des Barometers in der Schwebe hält, so ließ sich erwarten, daß in den oberen Regionen der Atmosphäre, wo die Luftsäule kürzer ist und infolgedessen einen geringeren Druck ausübt, auch eine entsprechende Verkürzung der Quecksilbersäule stattfindet. Der Versuch, den Pascal nicht selbst anstellte, sondern durch seinen Schwager Périer auf dem Gipfel des Puy de Dôme ausführen ließ, entsprach ganz der Erwartung. Über den Verlauf dieses in der Geschichte der Physik so denkwürdigen Versuches erstattete Périer jenen Bericht, den der Leser durch den 15. Abschnitt des 1. Bandes kennen gelernt hat. Der Stand des Barometers, welcher am Fuße des Puy de Dôme 26 Zoll 3 1/2 Linien betrug, belief sich danach zur selben Zeit auf dem Gipfel des 970 m hohen Berges auf 23 Zoll 2 Linien[2]).

Eine Förderung ohnegleichen erfuhr die Physik der gasförmigen Körper durch die zahlreichen Versuche, welche Otto

---

1) Siehe das 7. Heft der „Neudrucke von Schriften und Karten über Meteorologie und Erdmagnetismus“, herausgegeben von Professor Dr. G. Hellmann: Evangelista Toricelli, Esperienza dell' Argento Vivo. Berlin. A. Asher & Co. 1897.

2) Pascal, Récit de la grande éxperience de l'équilibre des liqueurs, Paris 1648. Neuerdings erscheinen als 2. Heft der „Neudrucke von Schriften und Karten über Meteorologie und Erdmagnetismus“, herausgegeben von Professor Dr. G. Hellmann. Berlin, A. Asher & Co. Siehe Bd. I d. Grdr. Abschnitt 15.

von Guericke unter Zuhilfenahme der von ihm erfundenen Luftpumpe anstellte. Die neuere, das Experiment in den Vordergrund stellende Richtung der Naturwissenschaft hatte in Deutschland vor Guericke nur geringe Beachtung gefunden. Wir sahen, daß ein Mann von der Bedeutung Kepplers nicht einmal dazu gelangte, die Ergebnisse seines Nachdenkens, sofern sie z. B. das Bild auf der Netzhaut und die Konstruktion des astronomischen Fernrohrs betrafen, auch durch den Versuch nachzuprüfen. In Guericke tritt uns dagegen mit einem Male ein Experimentator ersten Ranges entgegen. Als solchen haben wir ihn zu würdigen, nicht nach seiner Begabung zur Entwicklung theoretischer und philosophischer Vorstellungen. In letzterer Hinsicht mag sogar das Urteil eines Leibniz, daß uns in Guericke kein Geist ersten Ranges begegnet, seine Berechtigung haben. Andererseits übertraf Guericke aber an folgerichtigem Denken die Mehrzahl seiner Zeitgenossen. Indem sie an die Stelle verschwommener Ideen die scharfe Logik der Tatsachen setzten, haben Guericke und geistesverwandte Forscher, welche in den nördlichen Ländern Europas bald in größerer Zahl erstanden, der wahren, auf die Ergebnisse der exakten Forschung sich gründenden Philosophie erst die Wege geebnet. In Anbetracht dieser Bedeutung Guerickes wird es sich rechtfertigen, wenn wir zunächst bei seinem Leben verweilen, dessen Schilderung, wie bei Galilei und Keppler, zugleich ein Kulturbild aus dem 17. Jahrhundert entrollt.

Otto von Guericke[1]) wurde am 20. November 1602 zu Magdeburg als Sprößling einer dort ansässigen Rats- und Patrizierfamilie geboren[2]) und widmete sich in Leipzig dem Studium der Rechte. An einen längeren Aufenthalt in Leyden, wo er sich auch mit Mathematik, Mechanik und Befestigungslehre beschäftigte, schloß sich eine Reise nach Frankreich und England an. So vorbereitet, trat Guericke in noch jugendlichem Alter in das Ratskollegium seiner Vaterstadt und wirkte dort mit allen Kräften für das Wohl seiner Mitbürger. Die Wirren des dreißigjährigen Krieges griffen jedoch auch in das Leben dieses mit geistigen und materiellen Gütern so reich gesegneten Mannes. Als die Horden Tillys im Jahre 1631 plündernd und sengend in Magdeburg eindrangen, vermochte Guericke sich und seiner Familie kaum mehr als das

[1]) Eine ausführliche Biographie lieferte F. W. Hoffmann unter dem Titel: O. v. Guericke, ein Lebensbild aus der Geschichte des 17. Jahrhunderts.

[2]) Er starb am 11. Mai 1686 in Hamburg.

nackte Leben zu retten. Seine Kenntnisse in der Ingenieurwissenschaft, welche er seit jenem Aufenthalt in Leyden aus Liebhaberei betrieben hatte, verschafften ihm jedoch eine neue Stellung. So sehen wir ihn nach dem Falle Magdeburgs in verschiedenen Städten Deutschlands mit der Leitung von Befestigungsbauten betraut, in welchen jene rauhe Zeit des Krieges die wichtigste Aufgabe der Technik erblickte. Diese Tätigkeit Guerickes hatte wenigstens das Gute im Gefolge, daß er später dazu geführt wurde, die Mittel der Ingenieurmechanik auf die Lösung wissenschaftlicher Probleme anzuwenden. Leider ist wenig Zuverlässiges über die allmähliche Ausreifung und Durchführung der Ideen Guerickes bekannt geworden, so daß selbst über die Zeit seiner wichtigsten Erfindung, derjenigen der Luftpumpe nämlich, zuverlässige Daten nicht mehr ermittelt werden konnten[1]. Nachdem Magdeburg unter schwedischem Schutze neu erstanden war, kehrte Guericke gleich vielen seiner Mitbürger in die Vaterstadt zurück. Unter seiner Leitung wurden die Festungswerke und die von den Kaiserlichen gleichfalls zerstörte Elbbrücke wieder hergestellt. Für Guericke folgte dann zunächst eine Zeit ruhigen Lebens, während er seit seiner im Jahre 1646 erfolgten Ernennung zum Bürgermeister mit diplomatischen Geschäften überhäuft war. So finden wir ihn als Vertreter der magdeburgischen Interessen auf dem Friedenskongreß zu Osnabrück, dann wieder am Hofe zu Wien und auf dem Reichstage zu Regensburg. Dort zeigt er dem Kaiser und den versammelten Fürsten im Jahre 1654 seine Luftpumpe und jenen berühmt gewordenen Versuch mit den Magdeburger Halbkugeln, mit welchem der Leser durch den I. Band dieses Buches bereits bekannt geworden ist[2]. Wir haben dort auch Guerickes Schilderung seiner Vorversuche kennen gelernt. In Anbetracht des Umstandes, daß derartige Versuche jahrelange Mühen und bedeutende Kosten erfordern — Guerickes Sohn hat sie auf insgesamt 20000 Taler beziffert — hat die Annahme etwas für sich, daß diese Versuche in das Jahrzehnt von 1635—1646 fallen.

Die erste Veröffentlichung über die Luftpumpe und die von Guericke mit ihr angestellten Versuche verdanken wir dem Würzburger Professor Kaspar Schott. Letzterer befaßte sich

---

1) Siehe auch die betreffenden Abhandlungen G. Bertholds in den Annalen der Physik und Chemie. XX. 1883, sowie in den Verhandlungen der Akademie der Wissenschaften zu Stockholm 1895. Nr. 1.

2) Siehe Bd. I, Abschnitt 16.

im Auftrage seines Landesherrn, dessen Interesse durch die Vorführungen auf dem Regensburger Reichstage in hohem Grade angeregt war, mit der Wiederholung jener Versuche, ohne sich jedoch von der durch Guericke mit Nachdruck bekämpften Lehre vom Horror vacui lossagen zu können. Obgleich Guericke ursprünglich nicht die Absicht hatte, über seine Erfindungen und Entdeckungen zu schreiben, zwang ihm doch dieser Widerstreit der Meinungen endlich die Feder in die Hand. So entstand das im Jahre 1663 vollendete, indes erst 1672 erschienene umfangreiche Werk „Über den leeren Raum“ [1]. Der weitaus wichtigste Teil desselben ist das dritte „Über eigene Versuche“ betitelte Buch [2]. Dieses ist eine der wichtigsten und lehrreichsten älteren Monographieen über einen physikalischen Gegenstand, deren Studium jedem, der sich für die Entwicklung der Naturwissenschaften interessiert, warm empfohlen werden kann, um so mehr als das Eindringen in einige Quellenschriften einen in hohem Grade bildenden Wert besitzt [3].

Infolge der Streitereien über den leeren Raum war in Guericke die Begierde rege geworden, durch Versuche die Frage, ob ein Vakuum möglich sei, zu beantworten. „Denn“, so hebt er hervor, „die Gewandtheit im Disputieren gilt nichts auf dem Gebiete der Naturwissenschaften“ [4]. Wir erfahren aus der fesselnd geschriebenen Darstellung zunächst von seinen Bemühungen, ein mit Wasser gefülltes Faß zu evakuieren [5]. Diese Bemühungen scheitern indes an der Porosität des Holzes. Der Versuch gelingt, als Guericke Gefäße von Kupfer und von Glas anwendet. Die in Abb. 10 des I. Bandes wiedergegebene Tafel zeigt einen derartigen Rezipienten in Verbindung mit einer schon sehr handlich gebauten Luftpumpe, deren genauere Beschreibung manche fesselnde Einzelheit enthält [6]. Bemerkenswert ist auch

---

1) Ottonis de Guericke, Experimenta nova (ut vocantur) Magdeburgica de Vacuo Spatio. Amsterdam. 1672.

2) Aus dem Lateinischen übersetzt und mit Anmerkungen herausgegeben von Friedrich Dannemann. Leipzig, Verlag von Wilhelm Engelmann, 1894 (59. Bd. von Ostwalds Klassikern der exakten Wissenschaften).

3) Einige wichtige Kapitel des „Über eigene Versuche“ betitelten Buches bilden mit den erforderlichen Erläuterungen den 16. Abschnitt des I. Bandes dieses Grundrisses.

4) Auf der ersten Seite der Vorrede seines Werkes de Vacuo Spatio.

5) Ostwalds Klassiker Nr. 59, Seite 11.

6) l. c. Seite 16 ff.

die Weise, wie Guericke zur Erfindung des Wasserbarometers geführt wurde. Als er nämlich einigen Freunden den entleerten Rezipienten zeigt und in ihn durch eine Röhre Wasser leitet, das sich am Boden des Zimmers befindet, fragt einer der Umstehenden, bis zu welcher Höhe das Wasser auf diese Weise geführt werden könne. Sofort begibt sich Guericke an die Lösung des aufgeworfenen Problems. Die Röhre wird Stück auf Stück verlängert, während der Rezipient in immer höhere Stockwerke des Hauses gebracht wird (siehe die Abb. 11 im I. Bande). Endlich wird die Steighöhe gleich 19 Magdeburger Ellen ermittelt; doch zeigt es sich, daß das Wasser mitunter mehrere Handbreit höher oder tiefer steht. Aus diesen Schwankungen, von denen Pascal nachwies, daß sie in viel beträchtlicherem Maße beim Durchschreiten verschiedener Niveaus der Atmosphäre eintreten, schlossen beide Forscher, daß nicht der Horror vacui, sondern eine äußere Ursache, der Luftdruck nämlich, das Steigen der Flüssigkeiten hervorruft. Das Nächste war, daß Guericke eine bestimmte Luftmenge wog, indem er den Gewichtsunterschied zwischen dem mit Luft gefüllten und dem evakuierten Rezipienten feststellte[1]). Von einem trefflichen Beobachtungsvermögen zeugt es, daß ihm die geringen, durch die Änderungen des aërostatischen Auftriebs veranlaßten Schwankungen im Gewichte seines evakuierten Rezipienten nicht entgingen. Die 3. Abbildung seiner 10. Kupfertafel[2]) erläutert den bezüglichen Versuch. Der gänzlich evakuierte Rezipient L wurde mit einem an Rauminhalt viel kleineren Metallkörper ins Gleichgewicht gebracht. Als Guericke diese Vorrichtung längere Zeit hindurch beobachtete, fand er, daß der Rezipient bald höher, bald tiefer stand. Er bemerkt hierzu ganz richtig, daß beim Eintauchen des ganzen Apparats in Wasser der Rezipient in diesem dichteren Medium viel leichter erscheinen und erheblich in die Höhe gehen würde[3]). Sein Apparat lieferte somit den Nachweis, daß diese unter dem Namen des Auftriebs bekannte und schon von Archimedes erforschte Erscheinung auch für gasförmige Medien Gültigkeit besitzt.

Diejenigen Versuche mit der Luftpumpe, welche im heutigen physikalischen Unterricht vorgeführt werden, rühren gleichfalls fast sämtlich von Guericke her. Er wies z. B. nach, daß der

---

1) Ostwalds Klassiker Nr. 59, Seite 64.
2) Siehe Bd. I, Fig. 11.
3) Ostwalds Klassiker Nr. 59, Seite 63.

Schall sich im Vakuum nicht fortpflanzt[1]), während das Licht ungehindert hindurchgeht. Tiere starben in dem entleerten Rezipienten nach kurzer Zeit. Fische mit allseitig geschlossener Schwimmblase schwollen infolge des Ausdehnungsvermögens der darin befindlichen Luft zunächst bedeutend an, während bei solchen Fischen, deren Schwimmblase einen Ausführungsgang nach dem Schlunde hin besitzt, die Luft infolge derselben Ursache beim Evakuieren sofort zu entweichen begann. Guericke zeigt dann weiter, daß auch das Feuer wie der Lebensprozeß im Vakuum erlischt. Er macht ferner die Beobachtung, daß bei der Verbrennung Luft verzehrt wird. Eine Kerze, welche in einem allseitig geschlossenen Rezipienten brannte, erlosch nämlich, sobald der zehnte Teil der Luft verbraucht war[2]). Bei der Erörterung dieses Versuches zeigt Guericke, wie klar und vorurteilsfrei er denkt. Zunächst wirft er die Frage auf, warum das Erlöschen so früh eintritt und nicht die ganze Luftmenge anstatt eines Zehntels aufgezehrt wird. Als Grund gibt er an, daß die Luft durch die Produkte der Verbrennung verunreinigt werde. Die weitere Frage, ob das Feuer die Luft derartig verzehrt, daß es letztere vernichtet, oder ob es die Luft in einen anderen Stoff verwandelt, entscheidet Guericke in letzterem Sinne, obschon dieser Stoff so fein angenommen werden müsse, daß man ihn auf keine Weise wahrnehmen könne.

Auch die erste, zwar noch sehr einfache Elektrisiermaschine rührt von Guericke her. Sie findet sich gleichfalls in seinem Werke „De vacuo spatio“ abgebildet (siehe Abb. 36) und beschrieben. Zu ihrer Herstellung füllte er einen Glasrezipienten mit geschmolzenem Schwefel. Nach dem Erkalten wurde das Gefäß zerschlagen und die so erhaltene Schwefelkugel auf eine Achse gesteckt, welche auf zwei Stützen ruhte. Als Reibzeug diente die trockene Hand, ein Konduktor fehlte noch. Immerhin war es die erste maschinelle Vorrichtung zur Erzeugung von Elektrizität. Die Kugel zog Papier, Federn, Blattgold und andere leichte Gegenstände an und führte sie mit sich herum. Wassertropfen, welche man in ihre Nähe brachte, gerieten in eine aufwallende Bewegung. Auch wurde ein Geräusch und ein Leuchten wahrgenommen.

Vermittelst seiner Maschine entdeckte Guericke auch die von Gilbert noch übersehene Abstoßung gleichnamig

---

1) Ostwalds Klassiker Nr. 59, Seite 46.

2) a. a. O. Seite 45.

elektrisierter Körper. Ferner bemerkte er, daß ein von der Kugel abgestoßener Körper wieder angezogen wird, nachdem er mit dem Finger oder mit dem Boden in Berührung gekommen ist. Brachte man z. B. eine Feder zwischen die elektrisierte Kugel und den Fußboden, so hüpfte die Feder auf und nieder. Auch daß sich die Elektrizität der Kugel vermittelst eines leinenen Fadens fortleiten läßt, wurde von Guericke nachgewiesen.

Aus dieser Darstellung geht zur Genüge hervor, daß wir es in Guericke mit einem Manne von außerordentlichem Beobachtungsvermögen und hervorragendem Geschick zu tun haben. Zumal



Abb. 36. Guerickes Elektrisiermaschine [1]).

für Deutschland, dessen gelehrte Kreise weit mehr der Spekulation als dem exakten Forschen zugetan waren, ist Guerickes Beispiel von nachhaltiger Wirkung gewesen.

Von einem Zeitalter, das sich mit solcher Energie und solchem Erfolge der experimentellen Forschung zuwandte wie das 17. Jahrhundert, ist zu erwarten, daß auch die Chemie um manche wichtige Entdeckung bereichert wurde, wenn auch diese Wissenschaft erst weit später diejenige Stufe erreichte, auf welche ihre ältere Schwester, die Physik, durch Galilei und seine Zeitgenossen erhoben ward.

Wir verließen die Chemie an dem Punkte ihrer Entwicklung, zu welchem sie durch Basilius Valentinus und Paracelsus gelangt war. Ihr bisheriges Ziel, den Stein der Weisen und mit dessen Hilfe Gold zu bereiten, trat im Verlauf des 16. Jahrhunderts gegen dasjenige, Präparate zur Heilung von Krankheiten

1) Otto von Guericke, De vacuo spatio. 1672. Tafel XVIII. Fig. V.

herzustellen, immer mehr zurück. Letztere Richtung erreichte ihren Höhepunkt in dem Niederländer van Helmont (1577 bis 1644).

Ein Verdienst van Helmonts besteht darin, daß er zum erstenmal die Verschiedenartigkeit der luftförmigen Körper hervorhob, sowie den Begriff und die Bezeichnung „Gas“ einführte. Vor ihm hatte man trotz ihrer augenfälligen Verschiedenheit Wasserstoff, Schwefeldioxyd, Kohlendioxyd und atmosphärische Luft für wesentlich ein und dasselbe Ding gehalten. Am genauesten hat van Helmont die Eigenschaften des Kohlendioxyds erforscht. Er zeigte, daß dieses Gas sich aus Kalkstein, sowie aus Pottasche durch Übergießen mit Säuren entwickeln läßt und mit dem Verbrennungsprodukt der Kohle identisch ist. Auch daß sich Kohlendioxyd in Mineralwässern findet und bei der Gärung entsteht, war ihm bekannt.

Die Erkenntnis, daß es kein Entstehen und Vergehen der Stoffe gibt, regte sich gleichfalls bereits im Geiste van Helmonts. So lehrte er, daß das Kupfer, welches aus dem blauen Vitriol durch Zusatz von Eisen abgeschieden wird, nicht etwa neu geschaffen sei. Auch das Silber läßt er in den Salzen fortbestehen. Trotz alledem beschäftigt ihn das alchemistische Problem, ja dieses gewinnt infolge des Ansehens, welches van Helmont genoß, wieder erhöhte Beachtung. Auch seine Lehre, daß das Wasser der Hauptbestandteil aller Stoffe sei, steht zu seinen vorgeschrittenen chemischen Kenntnissen in einem gewissen Gegensatz. Diese Ansicht war bei ihm jedoch kein bloßes Philosophem wie bei Thales und seinen Anhängern, sie stützte sich vielmehr auf, wenn auch irrtümlich gedeutete, Beobachtungen und Versuche. Van Helmont hatte nämlich 200 Pfund Erde in einem irdenen Gefäße abgewogen und in diese einen 5 Pfund schweren Weidenstrauch gepflanzt. Letzterer wurde nur mit Regenwasser begossen, während das Gefäß durch einen Deckel verschlossen blieb. Nach Verlauf von 5 Jahren wog die Weide 169 Pfund, während das Gewicht der Erde nur um wenige Unzen abgenommen hatte. Diese Gewichtszunahme schrieb van Helmont, welcher die Bedeutung der atmosphärischen Kohlensäure für die Ernährung der Pflanzen noch nicht ahnen konnte, lediglich dem Wasser zu.

Eine hervorragende Förderung erfuhr die Chemie während des 17. Jahrhunderts durch den Engländer Boyle (1626—1691). Er war der erste, welcher die wahre Aufgabe dieser Wissenschaft in der Erkenntnis der stofflichen Zusammensetzung der Körper

erblickte. Mit der Aufstellung dieses Zieles begann für die Chemie ein neues Zeitalter. Indem Boyle als letzte Bestandteile, als Elemente im Sinne der modernen Wissenschaft, diejenigen Stoffe ansprach, welche keiner weiteren Zerlegung fähig sind, war das Schicksal der aristotelischen Elemente (Feuer, Erde, Luft und Wasser), sowie der Prinzipien der Alchemisten (Salz, Schwefel und Quecksilber) besiegelt. Auch der Unterschied zwischen mechanischer Mischung und chemischer Verbindung wurde von Boyle zum erstenmal scharf hervorgehoben. Als charakteristisch für die Bildung der letzteren stellt er das Verschwinden der Eigenschaften der Bestandteile hin.

Anknüpfend an den vorstehend beschriebenen Versuch van Helmonts, destillierte Boyle Regenwasser aus Glasgefäßen. Er fand stets einen Rückstand und glaubte damit gleichfalls bewiesen zu haben, daß sich das Wasser in erdige Bestandteile verwandeln lasse. Erst durch Lavoisier und Scheele wurde der wahre Sachverhalt aufgeklärt und die Ansicht, daß das Wasser eine derartige Umwandlung erfahren könne, als unhaltbar nachgewiesen.

Ein zweiter wichtiger Versuch, an welchen Lavoisier bei der Begründung der neueren Chemie anknüpfen konnte, betrifft die Verkalkung (Oxydation) der Metalle beim Erhitzen an der Luft. Boyle schmolz Zinn und Blei in verschlossenen, mit Luft gefüllten Gefäßen. Er wies nach, daß der so erhaltene Metallkalk schwerer ist als das dem Versuche unterworfene Metall. Um diese Erscheinung zu erklären, nahm er an, daß ein besonderer Stoff das Glas durchdringe und sich mit dem Metall verbinde. Ein anderer hypothetischer, von Lavoisier später als unhaltbar erkannter Stoff, das Phlogiston, das bei der Verbrennung entweichen sollte, erhielt bei den auf Boyle folgenden Chemikern eine solche Bedeutung, daß das von Boyle bis Lavoisier reichende Zeitalter der Chemie das phlogistische genannt wird.

Durch die unermüdliche Forschertätigkeit Boyles, dem seine Landsleute mit Recht den Beinamen des großen Experimentators gegeben haben, wurde auch der Zweig der analytischen Chemie begründet. Bisher hatte man sich bei qualitativen Untersuchungen wesentlich auf das sogenannte trockene Verfahren beschränkt, welches heute vorzugsweise bei der Vorprüfung, sowie bei der Bestimmung von Mineralien Anwendung findet. Boyle lehrte die in Lösung gebrachte Substanz mit Hilfe flüssiger Reagentien untersuchen, indem er aus Entstehung und Beschaffenheit der Niederschläge auf die Zusammensetzung schloß. So wies er Salzsäure

mittelst Silberlösung und Schwefelsäure durch Kalksalze nach. Er fällte Eisen durch Galläpfeltinktur und bediente sich zum Nachweise der Säuren mit Pflanzensäften gefärbter Papiere, alles Verfahrungsarten, die auch heute noch in Gebrauch sind.

Auch um die Erforschung der gasförmigen Körper hat Boyle sich große Verdienste erworben. Sobald die Kunde von der Erfindung Guerickes zu ihm gedrungen war, begab er sich an die Herstellung einer Luftpumpe, welche in mehrfacher Hinsicht den von Guericke benutzten Apparat übertraf. Im Jahre 1660 veröffentlichte Boyle seine „Neuen Versuche“ [1]), die sich zum Teil mit den „magdeburgischen“ deckten, zum Teil aber auch die Bezeichnung „neu“ verdienten. Erwähnt sei die Beobachtung, daß erwärmtes Wasser unter dem Rezipienten zu kochen beginnt, womit die Abhängigkeit des Siedepunktes von dem auf der Flüssigkeit lastenden Druck dargetan war. Boyle war ferner der erste, der die einfache Beziehung erkannte, welche zwischen dem Druck und dem Volumen eines Gases herrscht. Er schloß 12 Kubikzoll Luft durch Quecksilber in dem kürzeren Schenkel einer U-förmig gebogenen Röhre ab (siehe Abb. 37). In dem Maße, in welchem Quecksilber in den längeren, offenen Schenkel nachgegossen wurde, verringerte sich das Volumen der abgesperrten Gasmenge. Bei einem Drucke von zwei Atmosphären nahm es nur noch 6 Kubikzoll, bei drei Atmosphären 4 Kubikzoll ($^1/_3$ des ursprünglichen Volumens) ein, oder, wie Boyle es aussprach, die Luft verdichtete sich im Verhältnis der zusammendrückenden Kräfte.



Abb. 37. Boyles Versuch, eine Beziehung zwischen dem Druck und dem Volumen eines Gases zu finden [2]).

Dieses Grundgesetz der Aëromechanik [3]) wurde geraume Zeit später durch den Franzosen Mariotte (1620—1684) selbständig

[1]) New experiments, Physico-Mechanical, touching the Spring of the Air and its Effects made in the most part in a new pneumatical engine. Oxford 1660. Ein Jahr später erschien eine lateinische Übersetzung unter dem Titel: Nova experimenta de vi aeris elastica.

[2]) R. Boyle, Opera varia. Genevae 1680, Seite 38, Fig. 5.

[3]) Mitgeteilt von Boyle in seiner Schrift gegen Linus, Defensio contra Linum London 1662. Cap. V. Opera Varia, Genf 1680, Seite 42 ff.

aufgefunden. Der I. Band dieses Grundrisses enthält die vorzügliche Darstellung, welche Mariotte in der „Abhandlnng über die Natur der Luft“ [1]) von seiner Entdeckung gegeben hat. Während der ersten Hälfte des 17. Jahrhunderts lag, wie dieser Abschnitt lehrte, der Schwerpunkt der wissenschaftlichen Arbeit auf dem Gebiete der Mechanik. Erst nachdem man die Gesetze festgestellt, welche das Verhalten der festen, flüssigen und gasförmigen Körper regeln, war eine Grundlage für die weitere Erforschung alles Geschehens geschaffen. Diesen Versuch einer mechanischen Erklärung aller Naturerscheinungen unternimmt das nachfolgende Zeitalter, dessen bedeutendste Tat die Begründung der Mechanik des Himmels durch Newton ist.

3. Das Zeitalter Newtons.

Galilei hatte in einem an Keppler gerichteten Briefe die Befürchtung ausgesprochen, daß auf den das 17. Jahrhundert kennzeichnenden wissenschaftlichen Aufschwung vielleicht eine Zeit des Stillstandes und des Verfalls eintreten werde. War doch auf die Blüteperiode der griechischen Wissenschaft eine Brache von vielen Jahrhunderten gefolgt. Diese Befürchtung Galileis erwies sich zum Glück als grundlos. Die Wissenschaft war zu einem Gemeingut der zivilisierten Menschheit geworden; sie war nicht mehr an das Schicksal eines Volkes gebunden, wie es im Altertum und Mittelalter der Fall gewesen. Während auf dem Boden Italiens rückwärts gerichtete Bestrebungen ihren Fortschritt hemmten, gelangte sie vornehmlich in England und in Frankreich zur Entfaltung. Günstig beeinflußt wurden die Naturwissenschaften auch durch die Fortschritte der Mathematik, insbesondere durch die schon erwähnte Begründung der analytischen Geometrie und der Infinitesimalrechnung, sowie durch das Emporblühen der neueren mit Descartes anhebenden Philosophie. Eine zu weit gehende Arbeitsteilung, wie sie heute nicht ohne eine gewisse Gefahr für die Wissenschaft Platz gegriffen, bestand damals noch nicht. So sehen wir die hervorragendsten Philosophen und Mathematiker — es sei nur an Descartes und Leibniz erinnert — eifrig an der Lösung naturwissenschaftlicher Aufgaben mitarbeiten. Die neuere Philosophie zeigte sich ferner von dem Bestreben beseelt,

---

[1]) Mariotte, Essai sur la nature de l'air. 1679. Siehe auch Bd. I, Abschnitt 20.

mit allen hergebrachten Anschauungen zu brechen und ihre Probleme vom Standpunkt der Voraussetzungslosigkeit in Angriff zu nehmen. Dies Bestreben erwies sich auch für das naturwissenschaftliche Gebiet als überaus fruchtbringend. Von nachhaltigem Einfluß auf das letztere ist insbesondere der englische Philosoph John Locke (1632—1704) gewesen, dessen gründliche Untersuchungen über das Erkenntnisvermögen den modernen Realismus begründet haben. Nach dem Vorbild der Accademia del Cimento entstanden ferner auch in den nördlichen Ländern Europas gelehrte Gesellschaften, welche, gefördert durch reiche Mittel, sowie die Gunst der Monarchen, für die weitere Entwicklung von großer Bedeutung wurden. Ein wesentlicher Vorteil derartiger Vereinigungen bestand darin, wie später Laplace so treffend hervorhob, daß der philosophische Geist, der sich in ihnen bildete, die Bevölkerung und alle Gegenstände durchdrang. „Während der einzelne Gelehrte sich leicht dem Dogmatisieren hingibt, führt in einer gelehrten Gesellschaft der Zusammenprall dogmatischer Ansichten sehr bald zu einer Zerstörung der letzteren. Der Wunsch, sich gegenseitig zu überzeugen, ruft ferner notwendigerweise unter den Mitgliedern die Übereinkunft hervor, nichts anderes als die Ergebnisse der Beobachtung und Rechnung anzunehmen.“ [1])

In der Pflege dieses Geistes zeichneten sich vor allem die von Ludwig XIV. im Jahre 1666 gegründete Pariser Akademie, sowie die Royal Society[2]) in London aus. Letztere Vereinigung wurde von einer Anzahl englischer Forscher im Jahre 1645 ins Leben gerufen, um, wie die Stifter sagten, in der Unterhaltung über naturwissenschaftliche Gegenstände Trost über das Elend des Landes zu suchen. Das bedeutendste Mitglied der Royal Society war Newton, mit dessen Lebensgang und wissenschaftlichen Taten wir uns zunächst befassen müssen. In ihm finden nämlich die beiden Hauptstämme der neueren Naturwissenschaft, die Astronomie in der Gestalt, die Keppler ihr gegeben, und die Mechanik, wie sie aus dem Haupte Galileis hervorging, ihren Zusammenschluß und ihre Fortentwicklung.

Isaac Newton[3]) wurde am 5. Januar 1643 zu Woolsthorpe

---

1) Laplace, Précis de l'histoire de l'astronomie. Paris 1821. p. 99.

2) Die Royal Society veröffentlichte ihre Arbeiten seit dem Jahre 1665 unter dem Titel Philosophical Transactions, denen z. B. der im I. Bande dieses Grundrisses mitgeteilte Bericht Davys über die Entdeckung des Kaliums und Natriums entnommen ist (siehe Bd. I, Seite 268).

3) Eine ausführliche Biographie Newtons verfaßte Brewster: Life

einem in der Grafschaft Lincolnshire gelegenen Dorfe, geboren. Sein Vater, welcher daselbst Landwirtschaft betrieb, war einige Monate vor der Geburt des Sohnes gestorben. Die Mutter hegte nun den Wunsch, daß letzterer das kleine Besitztum, welches sie ihr eigen nannte, später übernehmen möchte. Newton wurde auf die Schule zu Grantham, einem wenige Meilen von Woolsthorpe entfernten Städtchen geschickt. Seine Lernbegierde war zunächst gering. Mit besonderem Eifer beschäftigte er sich mit der Herstellung mechanischer Vorrichtungen; so entstanden Windmühlen, Sonnen- und Wasseruhren, Treträder u. s. w. Auch in anderer Hinsicht zeigte sich die Eigenart Newtons, der an den Spielen der Jugendgefährten nur geringen Anteil nahm. Einst hatte ihn ein stärkerer fleißiger Mitschüler geschlagen. Newton suchte sich nun dadurch eine Art Genugtuung zu verschaffen, daß er seinem Gegner den Rang in der Klasse ablief. Obgleich seine Leistungen bisher die schwächsten waren, gelang ihm dies in kurzer Zeit.

Als der Knabe mit 14 Jahren auf das kleine Gut der Mutter zurückkehrte, dessen Bewirtschaftung er übernehmen sollte, zeigte es sich, daß er für die Geschäfte des praktischen Lebens nur geringes Geschick besaß. Auf Anraten und mit Beihilfe seines Onkels, der ihn hinter einer Hecke mit dem Lesen eines geometrischen Buches beschäftigt gefunden hatte, wurde Newton deshalb nach Grantham zurückgeschickt. Mit 17 Jahren bezog er dann die Universität Cambridge. Hier studierte er zunächst die mathematischen Werke der Alten, insbesondere die Geometrie Euklids. Darauf fesselten ihn die Arbeiten der neueren Schriftsteller. Er las die mathematischen Schriften des Descartes, die Arithmetik von Wallis[1]), welche die Keime der später von Newton und Leibniz erfundenen Infinitesimalrechnung enthält, und die Dioptrik Kepplers. An alle Arbeiten anderer trat er

of Newton, London 1831. Übersetzt von B. M. Goldberg. Leipzig 1833. Neu bearbeitet erschien dies Werk unter dem Titel „Memoirs of the Life, Writings and Discoveries of Sir Isaac Newton, Edinburg, 2 Bde., 1855, 2. Aufl. 1860. Siehe auch Snell, Newton und die mechanische Naturwissenschaft, Dresden, Leipzig, 1843.

1) Wallis, Arithmetica infinitorum sive nova methodus inquirendi in curvilineorum quadraturam. 1655. Wallis beschäftigt sich darin wie Cavalieri in seinen „Indivisibilien“ vorzugsweise mit Quadraturen und Kubaturen, verfuhr anknüpfend an Descartes aber mehr rechnerisch, während Cavalieri seine Ableitungen so geometrisch als irgend möglich zu gestalten trachtete (siehe auch Cantors Geschichte der Mathematik II, 822).

jedoch mit einer Selbständigkeit des Denkens heran, wie sie nur hervorragende Geister auszeichnet. Eigene mathematische Untersuchungen leiteten ihn noch während seiner Studienzeit zur Auffindung des allgemeinen binomischen Lehrsatzes. Auch nahm er bereits, bevor er in Cambridge als letzten akademischen Grad die Magisterwürde erlangte, das Gravitationsproblem in Angriff[1]).

Ihn leitete dabei der fruchtbare Gedanke, die Identität der Schwere und der vom Erdzentrum aus auf den Mond wirkenden Kraft nachzuweisen. Indes gelangte er damals noch nicht zum Ziele, weil ihm die seiner Rechnung zu grunde zu legenden Abmessungen der Erde nicht hinreichend genau bekannt waren. Die später zu besprechende Gradmessung Picards[2]) verschaffte endlich seiner Ableitung die richtigen Unterlagen, so daß erst 16 Jahre nachher jener Gedanke als zutreffend erwiesen werden konnte.

In den Beginn der wissenschaftlichen Tätigkeit Newtons fällt auch seine erste Beschäftigung mit der Optik. Wie auf Galilei, so wurde auch auf Newton die Mitwelt aufmerksam infolge seiner Verdienste um die Erfindung des Fernrohrs. Man hatte bemerkt, daß zwei Eigenschaften der Glaslinsen der Vervollkommnung dieses Instrumentes im Wege standen. Parallel einfallende Strahlen wurden nämlich nicht genau in einem Punkte vereinigt; ferner machten sich an den Bildern farbige Ränder bemerkbar. Beide Erscheinungen sind unter dem Namen der sphärischen und der chromatischen Abweichung bekannt. Da die letztere an den durch Hohlspiegel erzeugten Bildern nicht auftritt, so brachte Newton die von mehreren Seiten[3]) geäußerte Idee

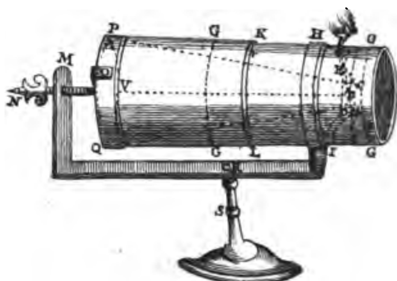


Abb. 38. Ansicht von Newtons Spiegelteleskop. (Aus den Philos. Transactions v. 1672.)

1) Siehe Bd. I, Abschnitt 18.

2) Siehe Seite 202 ds. Bds.

3) Zucchi 1616. Siehe Nicolai Zucchii Optica philosophica. Leyden 1652. Die bezügliche Stelle wird von Wilde in seiner Geschichte der Optik, Bd. I, Seite 308 angegeben. Zucchi machte auch, wie er an dieser Stelle mitteilt, den entsprechenden Fundamentalversuch, indem er das Licht der Gegenstände mit einem Hohlspiegel auffing und gleichzeitig eine Konkavlinse in passender Entfernung ans Auge brachte. Er wird deshalb von Wilde

eines Spiegelteleskops zur Ausführung. Das durch einen sphärischen Hohlspiegel (a q s b) erzeugte Bild wurde von einem schräg gestellten Planspiegel (f g) seitwärts reflektiert und durch eine in der Seitenwand angebrachte Linse (h) betrachtet (siehe Abb. 39).

Das erste im Jahre 1668 verfertigte Spiegelteleskop war nur 5 Zoll lang. Man war jedoch im stande, damit die Monde des Jupiter, sowie die Lichtgestalten der Venus zu erkennen. Einige Jahre später[1]) sandte Newton ein zweites größeres Instrument an die Royal Society. Es fand deren Beifall und erregte auch die Bewunderung des Hofes. Dieses Instrument wird noch heute in der Bibliothek jener Gesellschaft aufbewahrt. Es trägt die Inschrift:

Invented by Sir Isaac Newton
and made with his own hands.
1671.

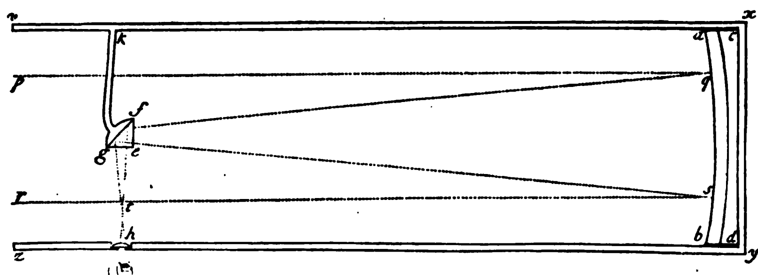


Abb. 39. Newtons schematische Zeichnung seines Spiegelteleskops[2]).

Das Verdienst des genialen Erfinders, der seit dem Jahre 1669 die Professur der Mathematik in Cambridge bekleidete, wurde dadurch anerkannt, daß man ihn in die Royal Society aufnahm, deren Vorsitz er in späteren Jahren führte.

Von weit größerem Belang als dieser in erster Linie der Praxis dienende Erfolg war die Förderung, welche die theoretische Optik durch Newton erfuhr. Mit der Untersuchung der Brechung

---

schon als der Erfinder des Spiegelteleskops bezeichnet (Wilde I, 308). Gregory beschränkte sich in seiner Optica promata vom Jahre 1663 (Seite 92 u. f.) auf den bloßen Vorschlag, das durch zwei Spiegel erzeute Bild durch eine Linse zu betrachten. Die Ausführung dieses Gregoryschen Teleskops erfolgte erst ein Jahrzehnt später (1774) durch Hooke. Siehe die schematische Zeichnung in Wüllners Lehrbuch der Experimentalphysik II, 344.

1) 1672.

2) Newton Optics. London 1721. Book I. Part. I. Tab. V. Fig. 29.

des Lichtes hatten sich schon die Alten, sowie unter den Neueren besonders Keppler[1]) und Snellius[2]) abgegeben. Eine Vertiefung von großer Tragweite erfuhr dieses Problem, als Newton das Augenmerk auf die bis dahin nicht weiter verfolgte Erscheinung der Farbenzerstreuung richtete. Sämtliche grundlegenden Versuche, welche dieses Gebiet betreffen, rühren von ihm her und sind dem Leser zum Teil schon durch den ersten Band bekannt geworden[3]).

Den Ausgangspunkt der Untersuchung bildete der Nachweis, daß Licht verschiedener Farbe einen verschiedenen Grad der Brechbarkeit besitzt[4]). Ein rechteckiges Stück Papier wurde durch eine senkrechte Linie in zwei Abschnitte zerlegt. Der eine dieser Abschnitte wurde intensiv rot, der andere blau gefärbt. Betrachtete man darauf das Papier durch ein Prisma, dessen brechende Kante nach oben gerichtet war, so erschien die blaue Hälfte mehr gehoben als die rote.

Daß der blaue Teil des Sonnenspektrums gleichfalls in stärkerem Maße gebrochen wird als der rote, zeigte Newton durch folgenden Versuch (siehe Band I, Abb. 13). Er ließ alle Teile des vom Prisma A B C erzeugten Sonnenspektrums in derselben Richtung G g nacheinander auf ein in fester Stellung befindliches Prisma (a b c) fallen. Jeder Teil wurde abgelenkt, doch nahm die Brechbarkeit vom roten nach dem blauen Ende des Spektrums in Übereinstimmung mit dem vorigen Versuche zu.

Durch Mischung sämtlicher Spektralfarben ließ sich ferner das weiße Sonnenlicht in seiner vollen Ursprünglichkeit wieder herstellen. Newton zeigte dies durch den in Abb. 14 des I. Bandes erläuterten Versuch. Fielen nämlich sämtliche Teile des Spektrums auf eine Linse M N, so wurden sie in ihrem Brennpunkt zu weißem Licht vereinigt. Da die Strahlen jedoch von diesem Punkte wieder auseinander treten, so mußte man in der Nähe des Brennpunktes ein Prisma (E D G) einschalten, welches alle in die parallele Richtung zwang und einen vollkommen weißen Strahl lieferte. Brechung und Farbenzerstreuung des zusammengesetzten Lichtes hielt Newton

---

1) Siehe Seite 172 ds. Bds.

2) Siehe Seite 173 ds. Bds.

3) Siehe Bd. I, Abschnitt 17.

4) Optics or a treatise of the reflections, refractions, inflections and coulours of light. London 1704. 1. Buch. 1. Teil. 1. Versuch. Das erste Buch von Newtons Optik wurde, als 96. Band von Ostwalds Klassikern der exakten Wissenschaften, übersetzt und herausgegeben von W. Abendroth. Wilhelm Engelmann. Leipzig. 1898.

auf Grund dieser Versuche für zwei stets miteinander verknüpfte Vorgänge. Daraus entsprang in ihm die Überzeugung, daß es kein Mittel gäbe, den Fehler der chromatischen Abweichung zu beseitigen. Trotzdem erhob sich in der Folge ein Wettkampf zwischen dem dioptrischen Fernrohr und dem Spiegelteleskop. Indem man jenen Fehler dadurch zu verringern suchte, daß man der Objektivlinse eine sehr mäßige Krümmung und dementsprechend eine bedeutende Brennweite gab, nahm das Fernrohr immer größere Abmessungen an. Schließlich verzichtete man auf eine feste Verbindung der beiden Linsen: es entstand das sogenannte Luftfernrohr, bei welchem der Abstand des Objektivs vom Okular 100 Fuß und mehr betrug. Auch der Reflektor erreichte später infolge der Bemühungen William Herschels die ansehnliche Länge von

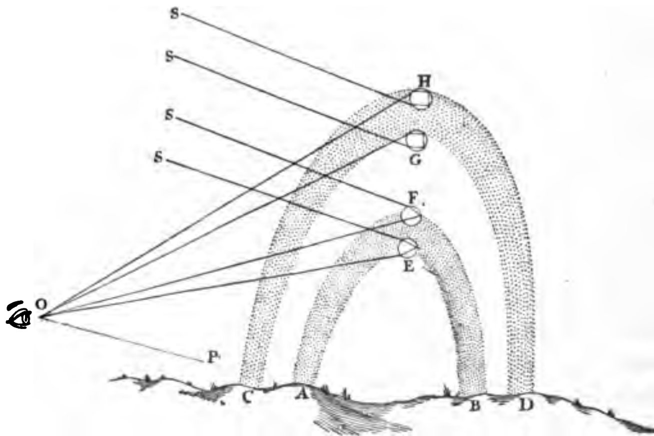


Abb. 40. Newton erklärt das Zustandekommen des Regenbogens[1]).

40 Fuß[2]). Wie die durch Euler angebahnte Erfindung der achromatischen Linse dem Refraktor endgiltig zum Siege verhalf und das Irrtümliche der Newtonschen Voraussetzung aufdeckte, wird der Gegenstand späterer Betrachtungen sein.

Eine weitere Folge von Newtons Spektraluntersuchungen war seine Theorie vom Regenbogen, durch welche ein Jahrtausende altes Rätsel gelöst wurde. Aristoteles hatte dieses Phänomen

---

1) Newton, Optics, London 1721. Book I. Part. II. Tab. IV. Fig. 15.

2) Der Spiegel hatte einen Durchmesser von 4 Fuß und wog 2000 Pfund. Herschel lieferte eine Beschreibung dieses Fernrohrs in den Philos. Transact. 1795. II, pg. 347. Das Teleskop des Earl of Rosse vom Jahre 1845 besaß sogar eine Länge von 16,6 und einen Spiegeldurchmesser von 1,82 Metern.

aus der Spiegelung zu erklären gesucht, während es die arabischen Optiker auf die Brechung des Lichtes zurückgeführt hatten. Nachdem dann Snellius das Refraktionsgesetz gefunden, vermochte Descartes die Erscheinung des Regenbogens theoretisch und experimentell soweit zu analysieren, daß nur noch das Auftreten der Farben zu erklären blieb. Letzteres geschah durch Newton. Die seiner „Optik" entnommene Abb. 40 stellt den inneren und den äußeren Regenbogen, sowie den Gang der Lichtstrahlen durch Tropfen dar, welche sich im roten und im violetten Teile befinden. Man erkennt, daß im inneren Bogen eine einmalige, im äußeren dagegen eine doppelte Reflexion an der Wand der Tropfen stattfindet. Dies hatte schon Descartes angenommen, um zu erklären, daß der äußere Bogen lichtschwächer ist. Newton zeigte nun, wie von dem Tropfen E, dessen Winkelabstand von dem gemeinschaftlichen, in der Verlängerung der Linie OP liegenden Mittelpunkt der beiden Bögen 40° 17′ beträgt, der violette Teil des Spektrums nach dem Auge des Beobachters gelangt. OP ist die Linie, welche die Sonne mit dem Auge des Beobachters verbindet. Der Tropfen F dagegen, dessen Abstand von dem Punkte, wo OP das Himmelsgewölbe schneidet, 42° 2′ beträgt, wird Strahlen geringerer Brechbarkeit zum Auge senden, wie aus der Abbildung schon ohne weiteres ersichtlich ist. Diejenige ringförmige Zone, in welcher sich der Tropfen F befindet, muß deshalb rot erscheinen. Im äußeren Bogen kehrt sich das Verhältnis um. Der Tropfen H sendet den stärker abgelenkten violetten Teil des Spektrums zum Auge, während das Rot von der inneren durch den Tropfen G repräsentierten Zone erzeugt wird.

Im Verlauf des 17. Jahrhunderts waren mehrere bisher unbekannte Phänomene in den Gesichtskreis der Physiker getreten. Bartholin hatte die Doppelbrechung am isländischen Kalkspat, Grimaldi die Beugung des Lichtes entdeckt, während Hooke sich zuerst mit den Farben dünner Blättchen beschäftigte. Dadurch war eine Fülle neuer Aufgaben auf dem Gebiete der Optik gegeben. Zwar blieb die theoretische Lösung dieser Aufgaben einem späteren Zeitalter vorbehalten; ihre experimentelle Erforschung indes hat Newton gleichfalls in erheblichem Maße gefördert.

Der italienische Mathematiker Grimaldi (1618—1663) hatte seine Beobachtungen über die Natur des Lichtes in einem Werke[1]) zusammengefaßt, das im Jahre 1665, zu jener Zeit, als Newton

[1]) Grimaldi, Physico-Mathesis de lumine, coloribus et iride. Bologna 1665.

seine Untersuchungen begann, veröffentlicht wurde. In diesem Werke findet sich nicht nur die erste Beschreibung des durch ein Prisma erzeugten Sonnenspektrums[1]), es wird darin auch über merkwürdige Erscheinungen berichtet, welche dem Gesetz der geradlinigen Fortpflanzung des Lichtes zu widersprechen schienen und mit dem Namen der Beugung belegt wurden.

Grimaldi ließ das Sonnenlicht durch eine feine Öffnung in ein dunkles Zimmer fallen und brachte in das so erhaltene Lichtbündel einen undurchsichtigen Körper (siehe Abb. 41)[2]). Fing man vermittelst eines Schirmes CD den Schatten auf, so besaß dieser eine größere Breite (MN), als der Konstruktion entsprach, und war von farbigen Streifen umgeben, welche seiner Begrenzung parallel liefen und sich auch in das Innere des Schattens erstreckten. Diese Erscheinung, welche offenbar mit der infolge der Brechung auftretenden Farbenzerstreuung nicht identisch ist, veranlaßte Grimaldi, das Licht als eine wellenförmige Bewegung zu betrachten. „Wie sich um einen Stein, den man ins Wasser wirft, kreisförmige Wellen bilden,“ sagt er, „ebenso entstehen um den Schatten des undurchsichtigen Gegenstandes jene glänzenden Streifen[3]).“ Wir finden hier die erste Andeutung der Undulationstheorie, welche in der neuesten Zeit zur vollen Geltung gelangt ist, da sie nicht nur sämtliche Lichterscheinungen erklärt, sondern in manchen Fällen sogar neue, bisher nicht gekannte Phänomene vorherzusagen gestattete.

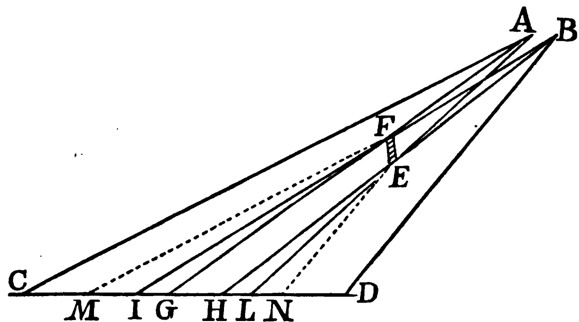


Abb. 41. Grimaldi, Physico-Mathesis, 1665, S. 2.

Die ersten Anhänger jener, die Allverbreitung eines außerordentlich elastischen Mediums voraussetzenden Wellentheorie waren Hooke und Huygens. Letzterer hat diese Lehre besonders

---

1) l. c. S. 235 u. f.

2) l. c. S. 2.

3) Grimaldi, Physico-Mathesis, pag. 18.

klar entwickelt[1]) und wird mit Recht als ihr eigentlicher Begründer bezeichnet. Manche Äußerungen Newtons weisen darauf hin, daß er der Wellentheorie durchaus nicht ihre Berechtigung absprach. Dennoch sah er sich veranlaßt, seine eigenen Erklärungen auf die Annahme zu stützen, daß das Licht ein Stoff sei, welcher von dem leuchtenden Körper ausgesandt wird. Während nämlich beide Lehren, die Undulationstheorie, sowie die von Newton begründete Emissionstheorie, die Erscheinungen der Reflexion und der Brechung zu deuten vermochten, war die erstere in der Fassung, welche Huygens ihr gegeben, noch nicht im stande, das Auftreten von Farben zu erklären. Nach der Annahme Newtons hingegen gibt es Lichtteilchen verschiedener Größe. Trifft ein Strahl des weißen Lichtes, in welchem alle Größen vertreten sind, in schräger Richtung auf einen durchsichtigen Körper, so werden die kleinsten, das Violett ausmachenden Teilchen durch eine von den Partikeln des Körpers ausgehende Anziehung in höherem Grade aus ihrer Richtung abgelenkt als die gröberen, die rote Farbe bedingenden. Zwischen beiden Extremen finden alle Übergänge statt, und so entsteht das zusammenhängende Farbenband des Spektrums. Um die Beugung und die gleich zu besprechenden Farben dünner Blättchen zu deuten, mußte Newton dem Lichtstoff wieder neue Eigenschaften beilegen, so daß seine Hypothese mit jedem hinzutretenden Erklärungsversuch verwickelter wurde, ein Umstand, der von vornherein nicht gerade zu ihren Gunsten sprach. Gestützt auf das große Ansehen ihres Urhebers hat sich die Emissionstheorie dennoch, obgleich von verschiedenen Seiten, insbesondere von Euler[2]), auf ihre Schwächen hingewiesen wurde, durch das ganze 18. Jahrhundert behauptet.

Ein weiteres Feld für optische Untersuchungen hatten die Arbeiten Hookes über die Farben dünner Blättchen erschlossen. Robert Hooke wurde 1635 auf der Insel Wight geboren und starb im Jahre 1703 in London. Er war Mitglied der Royal Society und zeichnete sich durch eine Vielseitigkeit aus, welche ihn indes leider von dem beharrlichen Verfolgen eines Grundgedankens abzog. An Hookes Bemerkungen über die Natur des Lichtes knüpfte Huygens die ausführliche Darstellung der Undulationstheorie.

---

1) Siehe Bd. I, Abschnitt 19, der einen Auszug aus Huygens' Abhandlung über das Licht bringt.

2) Siehe den 31. Abschnitt des I. Bandes.

In seiner Schrift über die Bewegung der Erde[1]) streift Hooke an die Entdeckung des Gravitationsgesetzes. „Ich werde," heißt es dort, „ein Weltsystem erklären, welches in jeder Beziehung mit den bekannten Regeln der Mechanik übereinstimmt. Dies System beruht auf drei Annahmen: Erstens, daß alle Himmelskörper ohne Ausnahme eine gegen ihren Mittelpunkt gerichtete Anziehung oder Schwerkraft besitzen, wodurch sie nicht bloß ihre eigenen Teile, sondern auch alle innerhalb ihrer Wirkungssphäre befindlichen Himmelskörper anziehen. Die zweite Voraussetzung ist die, daß alle Körper, welche in eine geradlinige und gleichförmige Bewegung versetzt werden, sich so lange in gerader Linie fortbewegen, bis sie durch irgend eine Kraft abgelenkt und in eine Bahn gezwungen werden, welche einem Kreise, einer Ellipse oder einer anderen nicht so einfachen krummen Linie entspricht. Nach der dritten Annahme sind die anziehenden Kräfte um so stärker, je näher ihrem Sitz der Körper ist, auf den sie wirken. Welches die verschiedenen Grade der Anziehung sind, habe ich noch nicht durch Versuche feststellen können. Aber es ist ein Gedanke, der, wenn er weiter verfolgt wird, den Astronomen in den Stand setzen muß, alle Bewegungen der Himmelskörper nach einem gewissen Gesetz zu bestimmen." An diese Ausführungen wird der Wunsch geknüpft, daß jemand diesen Gedanken verfolgen möge, da der Verfasser selbst durch andere Dinge zu sehr in Anspruch genommen sei.

Hookes Arbeiten, welche zu den optischen Untersuchungen Newtons hinüberführen, finden sich in seiner Mikrographie[2]), einem Werke, das auch in naturgeschichtlicher Hinsicht besonders wichtig ist, weil darin die ersten Beobachtungen über den zelligen Bau der Pflanzen mitgeteilt werden. „Dicke Glimmerblättchen," heißt es dort[3]), „sind farblos. Mache ich sie durch Spaltung immer dünner, so zeigt sich zuletzt jedes Blättchen schön gefärbt; dringt in die Spalten Luft ein, so zeigen sich Regenbogenfarben. Beim Zusammenpressen von Glasplatten entstehen Erscheinungen derselben Art."

Hooke führt ganz im Sinne unserer heutigen Theorie die

---

1) Hooke, An attempt to prove the motion of the earth. London 1674. S. 27 und 28.

2) Hooke, Micrographia or some philosophical descriptions of minute bodies. London 1665.

3) Micrographia, Observat. IX: Of the Colours observable in Muscovy Glaß and other thin Bodies.

Entstehung dieser Farben auf eine „Verwirrung“ der an den Grenzflächen der dünnen Schicht reflektierten Schwingungen zurück. Sein Mühen, Beziehungen zwischen der Dicke der die Interferenzerscheinungen veranlassenden Schicht und den erzielten Wirkungen zu finden, blieb jedoch erfolglos. An diesem Punkte setzten die Untersuchungen Newtons ein. Letzterer legte eine Linse, deren Krümmungshalbmesser 50 Fuß betrug, auf eine ebene Glasplatte. Um die Berührungsstelle bildeten sich die den Farben dünner Blättchen entsprechenden Newtonschen Ringe, welche im einfachen Licht nur in einer Folge von hell und dunkel bestanden, während das auf die Platte fallende Sonnenlicht die Spektralfarben hervorrief. Aus der Krümmung der Linse und dem Abstand der Ringe vom Berührungspunkte berechnete Newton die jeder Farbe entsprechende Tiefe der Luftschicht. Für das Gelb eines jeden Farbenringes verhielten sich die berechneten Werte wie 1:3:5:7 ... während für die zwischen den gelben Zonen liegenden dunklen Partien die Durchmesser der Schicht dem Verhältnis 2:4:6 ... entsprachen. Es ergab sich somit auf Grund mühevoller Messungen und Berechnungen das einfache Gesetz, daß die den hellen und dunklen Stellen entsprechenden Tiefen des vom Glase eingeschlossenen Mediums sich wie die natürlichen Zahlen verhalten [1]).

Wie den Betrachtungen Hookes verhielt sich Newton auch den Versuchen Grimaldis gegenüber. In beiden Fällen ergänzte er die Arbeiten seiner Vorgänger durch genaue Messungen und lieferte dadurch wertvolles Material zur festeren Begründung der Wellentheorie, welche später an die Stelle seiner eigenen, unzutreffenden Ansichten über die Natur des Lichtes treten sollte.

Seinen Höhepunkt erreichte Newtons Schaffen, als er den im Jahre 1666 erfolglos angestellten Versuch, die Bewegung der Himmelskörper aus den Gesetzen der Mechanik zu erklären, wieder aufnahm. Anlaß hierzu bot die ihm im Jahre 1682 während einer Sitzung der Royal Society zugehende Mitteilung, daß Picard in Frankreich wesentlich andere Abmessungen für die Erdkugel erhalten habe, als man in England zur Zeit Newtons annahm. Jean Picard (1620—1682), ein Mitglied der französischen Akademie, hatte noch unter der Voraussetzung, daß die Erde die Gestalt einer Kugel besitze, eine Gradmessung durch Triangulation zwischen Amiens und Malvoisine ausgeführt [2]), bei welcher zum

---

1) Newton, Optice, Lib. II. Pars. I. Observatio VI. S. 149 der Clarkeschen Ausgabe von 1740.

2) Picard, La mesure de la terre. Paris 1671.

erstenmale mit Fernrohren versehene Winkelmessinstrumente Anwendung fanden. Picard hatte für den Breitengrad einen Wert von 70 englischen Meilen oder 57060 Toisen[1]) erhalten, während Newton, welcher die von Snellius im Jahre 1617 ausgeführte Messung nicht kannte[2]), bei seiner 1666 angestellten Rechnung 60 englische Meilen für den Breitengrad angenommen hatte. Die mittlere Entfernung des Mondes war hinlänglich genau bekannt. Newton nahm sie zu 60 Erdhalbmessern an. Das Stück, um welches der Mond in einer Minute infolge der auf ihn wirkenden Zentripetalkraft von der Tangente seiner Bahn abgelenkt wird, ergab sich aus diesen Daten gleich 15 Fuß[3]). Unter der im Jahre 1666 gemachten Annahme hatte die Rechnung 13 $^1/_2$ Fuß ergeben, ein Wert, der keine einfache Beziehung zu dem an der Oberfläche der Erde von einem frei fallenden Körper in einer Minute durchlaufenen Wege erkennen ließ. Letzterer beträgt aber 5400 = 60.60.15 Fuß. Er ist also im Verhältnis des Quadrates der Entfernung größer als die zum Erdzentrum gerichtete Bewegung des Mondes, und in demselben Maße ist es daher auch die auf den fallenden Körper wirkende Kraft. Die Zentripetalkraft ergab sich folglich als mit der Schwere identisch, wenn man für die letztere voraussetzte, daß ihre Abnahme dem Quadrate der Entfernung entspricht. Damit war ein Gesetz von der größten Allgemeingültigkeit aufgefunden, welches man mit Recht als das Weltgesetz bezeichnet hat.

Als Newton die soeben mitgeteilte Folgerung zog, ergriff ihn eine solche Aufregung, daß er einen Freund bitten mußte, die Rechnung zu Ende zu führen. Was schon Anaxagoras vorgeahnt, als er aussprach, wenn die Schwungkraft des Mondes aufhöre, so müsse dieser Weltkörper zur Erde fallen wie der Stein aus der Schleuder; was bei Keppler und Hooke mit wachsender Deutlichkeit hervortrat: das stand mit einem Schlage klar vor dem Geiste Newtons. Auf die glückliche Entdeckung des Augenblicks

---

1) 1 Toise = 6 frz. Fuß = 1,949 m.

2) Sie hatte für den Breitengrad 55072 Toisen ergeben. Siehe auch Bd. I, Seite 85. Snellius verfuhr folgendermaßen. Er bestimmte die Polhöhe von Alkmaar zu 52° 40,5′, diejenige von Bergen op Zoom zu 51° 29′. Der Abstand der durch beide Orte gehenden Parallelkreise ergab sich daraus zu 1° 11,5′. Die Messung dieses Abstandes ergab 55072 Toisen für den Grad. Bei dieser Messung wurde zum erstenmal das Verfahren der Triangulation angewandt (De terrae ambitu a Willebrordo Snellio, Leyden 1617).

3) Genau gleich 15′ 1″ 1$^4/_9$‴. Siehe Newtons Prinzipien (ed. Wolfers), Seite 386.

folgten dann Jahre mühevollster Arbeit. Galt es doch, die Richtigkeit des gefundenen Prinzips durch seine Anwendung auf sämtliche astronomischen Erscheinungen zu erweisen. Die Untersuchung wurde auf die Planeten, die Jupitermonde, die Erscheinungen der Ebbe und Flut, ja selbst auf die Kometen ausgedehnt. Überall ergab sich die Bestätigung des Gravitationsgesetzes, nach welchem die anziehende Kraft der Masse direkt und dem Quadrate der Entfernungen umgekehrt proportional ist. So entstanden die „Mathematischen Prinzipien der Naturwissenschaft“, durch welche Newton die Erklärung des Weltmechanismus aus seiner Gravitationstheorie zu einem vorläufigen Abschluß brachte[1]).

Dennoch vermochte Newtons Lehre sich nur langsam Bahn zu brechen, da die zeitgenössischen Astronomen, insbesondere die Franzosen, zu sehr in der von Descartes aufgestellten Wirbeltheorie befangen waren. Letzterer, der als Begründer der neueren Philosophie großes Ansehen genoß und dessen Verdienste um die Formulierung des Brechungsgesetzes, um die Theorie des Regenbogens, sowie um die Begründung der analytischen Geometrie gleichfalls Anerkennung verdienen, dachte sich die Planeten in kreisenden Ätherströmen schwimmend, in deren Mitte sich die Sonne befinden sollte. Eine Wirkung in die Ferne schien den Anhängern der Cartesianischen Physik und auch dem großen deutschen Philosophen Leibniz unannehmbar. Allmählich gelangte die Newtonsche Gravitationsmechanik indes doch zur allgemeinen Anerkennung. Und hundert Jahre später waren es gerade die Franzosen, vor allem ihr großer Astronom Laplace, welche das von Newton in den gröberen Zügen ausgearbeitete System bis in alle Einzelheiten vollendet haben.

Die Gravitationsmechanik stellt sich im wesentlichen als eine Fortbildung der von Galilei aufgefundenen Sätze über den Wurf dar. Am klarsten geht dieser Zusammenhang aus der folgenden, von Newton selbst gegebenen Darstellung hervor[2]): „Daß durch die Zentralkräfte die Planeten in ihren Bahnen erhalten werden können, ersieht man aus der Bewegung der Wurfgeschosse. Ein geworfener Stein wird, indem ihn seine Schwere antreibt, vom geraden Weg abgelenkt und fällt, indem er eine krumme Linie

---

[1]) Philosophiae naturalis principia mathematica, London 1687. Übersetzt von Wolfers, Berlin 1872. Siehe auch Ferd. Rosenberger: Isaac Newton und seine physikalischen Prinzipien. Ein Hauptstück aus der Entwicklungsgeschichte der modernen Physik. Leipzig 1895.

[2]) Newtons Prinzipien (ed. Wolfers), Seite 515.

beschreibt, zuletzt zur Erde. Wird er mit größerer Geschwindigkeit geworfen, so geht er weiter fort; und so könnte es geschehen, daß er einen Bogen von 10, 100, 1000 Meilen beschriebe und zuletzt über die Grenzen der Erde hinausginge und nicht mehr zurückfiele. Es bezeichne (Abb. 42) A F B die Oberfläche der Erde, C ihren Mittelpunkt und V D, V E, V F krumme Linien, welche ein von der Spitze V eines sehr hohen Berges in horizontaler Richtung und mit wachsender Geschwindigkeit geworfener Körper beschreibt. Damit der Widerstand der Luft nicht in Rechnung zu kommen braucht, wollen wir sie uns ganz fortgenommen denken. Auf dieselbe Weise, wie der mit zunehmender Geschwindigkeit geworfene Körper die Bögen V D, V E, V F beschreibt, wird er endlich, wenn die Geschwindigkeit noch weiter vergrößert wird, über den ganzen Umfang der Erde fortgehen und zu dem Berge, von welchem er geworfen wurde, zurückkehren[1]). Da nun nach den Sätzen, welche von der Zentrifugalkraft handeln[2]), die Geschwindigkeit bei der Rückkehr zum Berge nicht kleiner als beim Ausgange sein kann, so muß der Körper fortfahren, sich in derselben Weise herumzubewegen. Denken wir uns nun Körper aus höheren Punkten in horizontaler Richtung fortgeworfen, und zwar aus Punkten, welche 10 Meilen, 100 Meilen oder ebensoviele Halbmesser über der Oberfläche der Erde liegen, so werden diese Körper, je nach ihrer Geschwindigkeit und nach der in den einzelnen Punkten herrschenden Anziehung, Kurven beschreiben, die entweder konzentrisch oder exzentrisch sind. Und in diesen Bahnen werden sie fortfahren nach der Weise der Planeten, den Weltraum zu durchwandern."

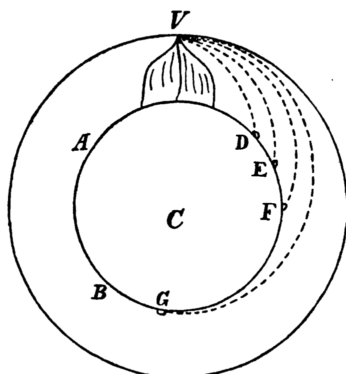


Abb. 42. Newtons Ableitung der Zentralbewegung aus der Wurfbewegung[3]).

Die hier stattgefundene Erweiterung gegenüber der Betrachtung Galileis besteht also darin, daß die Richtung der auf den

[1]) Dies würde geschehen, wenn die Geschwindigkeit 21000' für die Sekunde beträgt.

[2]) Newtons Prinzipien, I. Buch. § 13.

[3]) Newtons Prinzipien (ed. Wolfers), Fig. 213.

Körper konstant wirkenden Kraft sich stetig ändert, während sie im anderen Falle[1]) dieselbe bleibt.

Zu der Zeit, als die „Prinzipien“ erschienen, bekleidete Newton immer noch die Professur der Mathematik in Cambridge, deren kärgliche Besoldung kaum den bescheidensten Ansprüchen genügte. Dazu kam das Unglück, daß ein Teil seiner wertvollen Aufzeichnungen verbrannte. Newton wurde dadurch so bekümmert, daß man eine Geistesstörung befürchtete. Diese äußeren Verhältnisse wurden jedoch mit einem Schlage durch Newtons Ernennung zum königlichen Münzmeister geändert. Seitdem wohnte er, im Alter mit Ehren überhäuft, bald in der Hauptstadt, bald auf einem Landsitz in der Nähe, bis ein Steinleiden am 31. März des Jahres 1727 seinem an wissenschaftlichen Erfolgen so überaus reichen Leben ein Ziel setzte.

Newton war trotz seiner außerordentlichen Bedeutung ein bescheidener, stiller Gelehrter. „Ich weiß nicht“, sprach er einst, „wie ich der Welt erscheine. Mir selbst aber komme ich vor wie ein Knabe, der am Meeresufer spielt und sich damit belustigt, dann und wann einen glatten Kiesel oder eine schönere Muschel als gewöhnlich zu finden, während der große Ozean der Wahrheit unerforscht vor ihm liegt.“

Die Inschrift, welche sein Geburtshaus in Woolsthorpe schmückt, lautet: „Nature and Nature's laws lay hid in night, God said ‚Let Newton be‘, and all was Light“[2]).

Newton wurde in der Westminsterabtei, der Stätte, wo Englands große Männer ruhen, unter Ehrenbezeugungen beigesetzt, wie sie sonst nur verstorbenen Mitgliedern des königlichen Hauses erwiesen werden. Das Denkmal, welches seine irdischen Überreste deckt, trägt einen in lateinischer Sprache verfaßten Nachruf, dessen Wortlaut nachstehend in deutscher Übersetzung wiedergegeben sei:

Hier ruht
Sir Isaac Newton,
welcher mit fast göttlicher Geisteskraft
Der Planeten Bewegung und Gestalten,
Die Bahnen der Kometen und die Gezeiten des Ozeans
Mit Hilfe seiner mathematischen Methode
Zuerst erklärte.

---

1) Siehe Abb. 16 ds. Bds.

2) Natur und ihr Gesetz verborgen war in Nacht.
Gott sprach: „Laß Newton sein!“ und es ward Tag.

Er ist es, der die Verschiedenheiten der Lichtstrahlen,
Sowie die daraus entspringenden Eigentümlichkeiten der Farben,
Die niemand vorher auch nur vermutete, erforscht hat.
Als der Natur, der Altertümer und der Heiligen Schrift
Fleißiger, scharfsinniger und getreuer Deuter,
Verherrlichte er die Majestät des allmächtigen Schöpfers in seiner Philosophie.
Die vom Evangelium geforderte Einfalt bewies er durch seinen Wandel.
Mögen die Sterblichen sich freuen, daß unter ihnen wallte
Eine solche Zierde des Menschengeschlechts.
Geboren am 25. Dezember 1642, gestorben am 20. März 1727[1]).

Aus der Schar der Zeitgenossen ragte niemand soweit an Newton heran wie der schon wiederholt erwähnte Niederländer Huygens, den ersterer selbst Summus Hugenius nannte. Auch Huygens stand auf den Schultern Galileis. Seine Tätigkeit erstreckte sich vorzugsweise auf dieselben Wissensgebiete, auf denen Newton bahnbrechend wirkte, auf die Optik und die Mechanik; und wo zwischen beiden Forschern Meinungsverschiedenheiten entstanden, hat die Aufhellung der letzteren neue Fortschritte gezeitigt.

Christiaan Huygens wurde am 14. April des Jahres 1629 im Haag geboren. Ausgestattet mit einer mathematischen Begabung, welche frühzeitig die Bewunderung seines Zeitalters erregte, zeichnete ihn außerdem ein hervorragendes Geschick für die praktische Bewältigung mechanischer Probleme aus. Wie auf Galilei und Newton, so ist auch auf ihn die Mitwelt zuerst durch seine astronomischen Entdeckungen aufmerksam geworden. Die von Galilei am Saturn beobachtete rätselhafte Erscheinung, welche letzterer für eine Verdreifachung dieses Gestirnes angesehen hatte[2]), erfuhr nämlich durch Huygens die richtige Deutung. Dieser erkannte nämlich vermittelst der vorzüglichen, von ihm verfertigten Refraktoren, daß es sich hier weder um eine Verdreifachung noch um zwei Henkel, welche spätere Beobachter zu sehen glaubten, handeln könne; sondern er erblickte den Saturn von einem freischwebenden Ringe umgeben, wie es uns die nebenstehende, dem Werke über das System des Saturns[3]) entnommene Abbildung 43

1) Nach dem gregorianischen Kalender am 5. Januar 1643 und am 31. März 1727.

2) Siehe Bd. I, Abschnitt 10.

3) Christiani Hugenii Systema Saturnium. Haag 1659.

erkennen läßt. Huygens durfte mit Recht von einem System dieses Planeten reden, da er auch den sechsten und größten der um ihn kreisenden Monde aufgefunden hatte[1]). Fast zur selben Zeit, als die Entdeckung des Saturnringes erfolgte, wurde Huygens auf die später zu besprechende Erfindung der Pendeluhr geleitet[2]). Durch diese Leistungen war er schon, bevor er das 30. Lebensjahr erreicht und noch ehe er seine für die Mechanik und die Optik grundlegenden Werke veröffentlicht hatte, zu einer Berühmtheit von europäischem Rufe geworden. Als daher Colbert die französische Akademie der Wissenschaften errichtete, war es das Erste, daß er den niederländischen Forscher berief. Huygens leistete der Ernennung Folge und blieb von 1666 bis 1681 eine Zierde des neubegründeten Instituts. Da jedoch in Frankreich die Verfolgungen der Protestanten einen bedrohlichen Charakter annahmen, kehrte er noch vor der Aufhebung des Ediktes von Nantes, obgleich man ihm selbst volle Religionsfreiheit zugesichert hatte, in die Vaterstadt zurück. Bis zu seinem dort am 8. Juni 1695 erfolgten Ende blieb er mit physikalischen und mathematischen Untersuchungen beschäftigt.

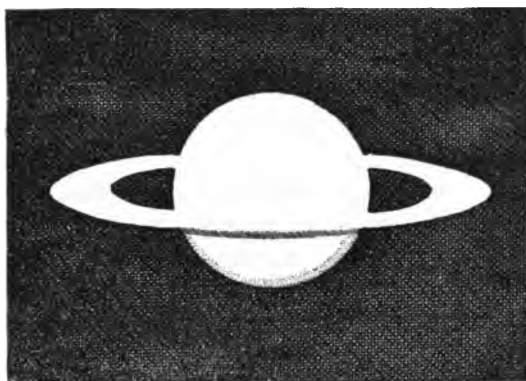


Abb. 43. Huygen' Darstellung des Saturnringes. (Christiani Hugenii Systema Saturnium. Haag 1659. Abbildung auf Seite 21).

Wenn Huygens auf dem Gebiete der Optik auch keine hervorragende Entdeckung machte, so hat er sich hier doch durch die Aufstellung der schon erwähnten Wellentheorie das größte Verdienst erworben. Angeregt wurden seine Betrachtungen einerseits durch die Spekulationen Descartes' und Hookes, von denen der letztere das Licht gleichfalls als eine Wellenbewegung

---

1) Die übrigen sieben Saturnmonde wurden später von Cassini Herschel u. a. entdeckt.

2) Das Patent, welches er auf seine Erfindung nahm, datiert vom 16. Juni 1657.

ansprach[1]), ohne jedoch seine Ansicht ausführlicher zu begründen; andererseits durch die Entdeckung der Doppelbrechung, sowie der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes. Mit dem Problem, diese Geschwindigkeit gleich derjenigen des Schalles zu messen, hatte sich schon Galilei befaßt. Er war indes, wie man es bei der Anwendung einfacher Lichtsignale nicht anders erwarten konnte, zu keinem Ergebnis gelangt. Descartes' Meinung ging dahin, daß zwar nichts Stoffliches von den leuchtenden Körpern in unser Auge gelange; indessen sei das Licht keine Bewegung, sondern vielmehr ein Streben nach Bewegung. Und dieses Streben beanspruche, als etwas gänzlich Unkörperliches, zu seiner Fortpflanzung keine Zeit. Descartes war der Erste, der die Frage durch astronomische Gründe zu entscheiden suchte. Breitet sich das Licht, so schloß er, in der Zeit aus, dann kann die Verfinsterung des Mondes durch die Erde nicht in demselben Augenblicke eintreten, in welchem sich die Erdkugel zwischen Mond und Sonne schiebt. Nun zeigen aber die Beobachtungen, daß die Mondfinsternis in demselben Augenblicke beginnt, in welchem der Mond in die Richtung der Verbindungslinie von Erde und Sonne tritt. Die Fortpflanzung des Lichtes wird also keine Zeit beanspruchen. Demgegenüber bemerkt Huygens, daß die Betrachtungen, welche Descartes anstellt, wohl eine sehr schnelle, keineswegs aber eine augenblickliche Fortpflanzung des Lichtes beweisen. Wenn letzteres z. B. den Weg von der Erde zum Monde innerhalb zehn Sekunden zurücklege, so würde dies in den astronomischen Beobachtungen nicht leicht wahrzunehmen sein.

Die von Huygens gemachte Voraussetzung, daß das Licht zu seinem Wege Zeit gebraucht und sich in einem das Weltall erfüllenden Medium in kugelförmigen Flächen oder Wellen fortpflanzt[2]), hatte erst wenige Jahre vor der Veröffentlichung seiner Wellentheorie ihre Bestätigung gefunden. Dies geschah durch die Beobachtungen, welche der dänische Mathematiker Olaf Römer[3]) an dem innersten Jupitertrabanten anstellte. Letzterer bewegt sich in etwa 42 1/2[4]) Stunden um den Zentralkörper und tritt nach

---

1) Siehe Seite 199 ds. Bds.

2) Siehe Bd. I, Abschnitt 19.

3) Olaf oder Olof Römer wurde am 25. September 1644 zu Aarhuus geboren und starb am 19. September 1710 in Kopenhagen. Die erwähnten Beobachtungen stellte er von 1672—1676 auf der Pariser Sternwarte an. Sein Bericht an die Pariser Akademie datiert vom 22. November 1675 (Anc. Mémoires, Paris. Tom. I et X).

4) 42 Stunden 27 Minuten 33 Sekunden.

jedesmaligem Ablauf dieses Zeitraumes aus dem Schatten des Jupiter heraus. Huygens gibt in seiner im Jahre 1678 verfaßten „Abhandlung über das Licht“, mit welcher der Leser bereits durch den 19. Abschnitt des I. Bandes bekannt geworden ist, folgenden Bericht über die von Römer angestellten Beobachtungen und Folgerungen: A (Abb. 44) sei die Sonne, B C D E die jährliche Bahn der Erde, F der Jupiter und G N die Bahn des nächsten seiner Begleiter. Bei H möge dieser aus dem Schatten des Jupiter treten. Setzt man nun voraus, daß dies geschah, während die Erde sich im Punkte B befand, so müßte man, wenn die Erde an derselben Stelle bliebe, nach Ablauf von 42 1/2 Stunden einen ebensolchen Austritt beobachten. Wenn nun die Erde beispielsweise während 30 Umläufe des Mondes immer in B verharrte, so würde man ihn gerade nach 30.42 1/2 Stunden wieder aus dem Schatten hervorkommen sehen. Während dieser Zeit hat sich indes die Erde nach C bewegt, indem sie sich mehr und mehr von dem Jupiter, der infolge seiner langen Umlaufszeit seine Stellung wenig verändert hat, entfernte. Daraus folgt, daß, wenn das Licht für seine Fortpflanzung Zeit gebraucht, das Auftauchen des kleinen Mondes in C später bemerkt werden wird, als dies in B geschehen wäre. Man muß nämlich zu der Zeit von 30.42 1/2 Stunden noch diejenige hinzufügen, welche das Licht gebraucht, um den Weg M C, nämlich den Unterschied der Strecken C H und B H zu durcheilen. Ebenso wird man, wenn die Erde von D nach E gelangt und sich somit dem Jupiter nähert, das Eintreten des Mondes G in den Schatten bei E früher beobachten müssen, als dies geschehen würde, wenn die Erde in D geblieben wäre. Römers Berechnungen ergaben, daß das Licht ungefähr 11 Minuten gebraucht, um den Halbmesser der Erdbahn zu durchlaufen. Spätere Messungen haben diesen in Anbetracht der großen Strecke schon außerordentlich geringen Wert sogar auf etwa 8 Minuten herabgesetzt. Die Lichtgeschwindigkeit ist demnach nicht das 600000 fache

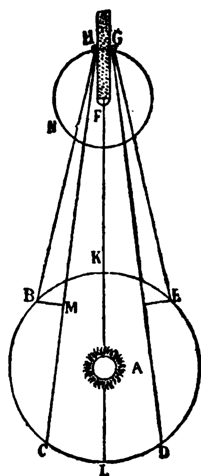


Abb. 44. Römer berechnet die Geschwindigkeit des Lichtes [1]).

[1]) Chr. Huygens, Abhandlung über das Licht. Fig. 2. Siehe Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften Nr. 20, Seite 14.

derjenigen des Schalles, wie Huygens angibt[1]), sondern nahezu das 900000 fache.

Wie sich Huygens die Vereinigung der von jedem Punkte des leuchtenden Körpers ausgehenden Elementarwellen zu einem einzigen von dem Körper fortschreitenden Wellensystem dachte, haben wir durch seine an die 18. Abbildung des I. Bandes geknüpfte Auseinandersetzung erfahren. Im weiteren Verlaufe werden aus seinem Prinzip die Reflexion, die Brechung und die am Kalkspat beobachtete Erscheinung der Doppelbrechung abgeleitet. Eine nach jeder Richtung befriedigende Deutung war jedoch erst möglich, nachdem spätere Forscher die von Huygens auf Grund der Analogie mit der Schallbewegung gemachte Annahme, daß der Lichtäther longitudinal schwinge, verließen. Erst unter der Voraussetzung transversaler Schwingungen gelang es mit Hilfe des von Huygens aufgestellten Prinzips, die verwickeltsten Lichterscheinungen nicht nur zu erklären, sondern sogar der Beobachtung bisher verborgen gebliebene Vorgänge vorherzusagen.

Die Frage, welchen Wert und welchen Grad der Gewißheit Betrachtungen solcher Art besitzen, hat Huygens selbst beantwortet, indem er darlegt, daß die von ihm aufgestellten Prinzipien sich erst durch die Schlüsse bewahrheiten, welche man aus ihnen zieht, während die Mathematik umgekehrt ihre Sätze aus sicheren, unanfechtbaren Voraussetzungen herleite. „Trotzdem ist es gleichwohl möglich", sagt Huygens von diesem Gebiete[2]), „zu einem Grade der Wahrscheinlichkeit zu gelangen, der oft einem strengen Beweise nichts nachgibt. Das ist nämlich dann der Fall, wenn die aus jenen Prinzipien gezogenen Folgerungen vollständig mit den Erscheinungen im Einklang sind; zumal, wenn die Zahl der Erscheinungen groß ist, und vorzüglich, wenn man neue Erscheinungen voraussieht, die aus den gemachten Annahmen folgen und unserer Erwartung gemäß auch eintreten."

Von gleicher Bedeutung wie seine Leistungen auf dem Gebiete der Optik waren die Arbeiten Huygens' auf dem Felde der Mechanik, wenn es sich auch hier nur um ein Fortbauen auf den von Galilei herrührenden Grundlagen handeln konnte. Knüpfte Newton an Galileis Untersuchungen über den Wurf an, so entwickelte Huygens die Theorie des Pendels, für welches der

---

1) Siehe Bd. I, Seite 89.

2) Siehe die Vorrede zu seiner Abhandlung (Ostwalds Klassiker Nr. 20, Seite 4).

große Meister nur die fundamentalen Gesetze aufgestellt hatte, bis in alle Einzelheiten. Dabei wandte er in seinem 1673 erschienenen Werke über die Pendeluhr[1]), das den „Prinzipien" Newtons als ebenbürtig an die Seite gestellt werden kann, die Geometrie in solch bewunderungswürdiger Weise auf mechanische Probleme an, daß Newton, sehr wahrscheinlich durch die Mustergültigkeit der Huygens'schen Darstellung bewogen, sich in dem genannten Hauptwerk gleichfalls geometrischer Beweise bediente, anstatt der höheren Analysis, in deren Besitz er sich damals schon befand, den Vorzug einzuräumen[2]).

Die Frage der Einführung eines genauen Zeitmaßes war im Verlauf des 17. Jahrhunderts, in welchem so große Dinge auf den Gebieten der Astronomie und der Physik geschahen, zu einer brennenden geworden. Der weitere Fortschritt dieser Wissenschaften mußte wesentlich von der Einführung eines solchen abhängen. Wir sahen, daß noch Galilei sich bei seinen Fallversuchen einer Art Wasseruhr bediente[3]). Da Galilei mit Hilfe dieser Vorrichtung die Schwingungsdauer eines und desselben Pendels als konstant erwies, so mußte er auf den Gedanken kommen, sich dieses so viel einfacheren Mittels als Zeitmaß zu bedienen. Galilei hatte sogar die Idee, das Pendel mit einem Zählwerk zu verbinden[4]). Das Ei des Columbus bestand nun darin, den wiederholten Anstoß seitens der Hand, den die von Galilei ersonnene Vorrichtung erforderte, durch die ununterbrochen wirkende Kraft eines fallenden Gewichtes zu ersetzen. Hierin besteht die Erfindung des großen Huygens, auf welche er 1657, im 28. Jahre seines Lebens, ein Patent nahm.

Während man sich im Altertum, sowie im früheren Mittelalter nur der Sonnen- und der Wasseruhren bedient hatte, kamen seit dem 11. Jahrhundert Räderuhren mit Gewichten auf. Später wurden diese Uhren auch mit einem Schlagwerk in Verbindung gesetzt. In der zweiten Hälfte des 14. Jahrhunderts gab es

---

1) Horologium oscillatorium sive de motu pendulorum. Paris 1673.

2) Im Besitze der Grundzüge seines unter dem Namen der Fluxionsrechnung bekannt gewordenen analytischen Verfahrens befand sich Newton schon im Jahre 1666. Siehe Cantor, Geschichte der Mathematik. Bd. III. S. 150 u. f.

3) Siehe Seite 132 ds. Bds.

4) Das von Viviani herrührende Modell dieser Vorrichtung existiert noch im Galilei-Museum zu Florenz. Siehe Günther, Vermischte Untersuchungen zur Geschichte der mathematischen Wissenschaften. 1876. Seite 316.

derartige Turmuhren schon in vielen deutschen Städten. Die Regulierung der Uhren erfolgte damals durch Windflügel, wie sie noch heute bei den Spielwerken gebräuchlich sind, oder durch eine horizontale, mit Gewichten beschwerte Stange. Ihr Gang war jedoch so ungenau, daß ein Wärter ihn überwachen und nach der Sonne und den Sternen regeln mußte.

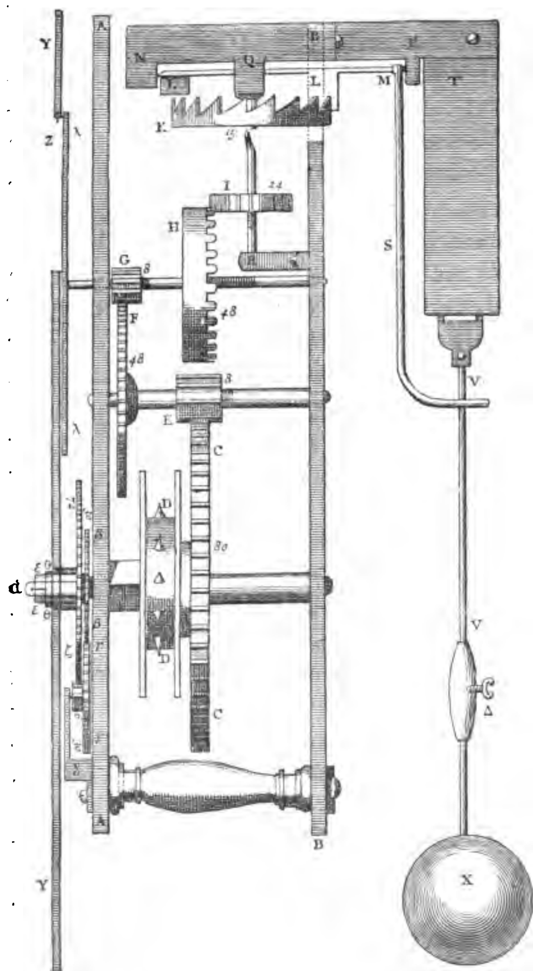


Abb. 45. Huygens' Abbildung der von ihm erfundenen Pendeluhr[1]).

Die nebenstehende, dem Werke Huygens' entnommene Abbildung 45 zeigt den von diesem angewandten Mechanismus. Er bestand in der Verbindung eines horizontalen gezähnten Rades K mit einer horizontalen Achse, deren Schaufeln L L abwechselnd zwischen die Zähne eingriffen. Über D war eine Schnur gewickelt, welche das Gewicht trug. Die heute gebräuchliche Ankerhemmung wurde erst später erfunden[2]).

Galilei hatte die Analogie der Pendelbewegung mit dem Fall über die schiefe Ebene nachgewiesen. Huygens verall-

---

1) Christiani Hugenii, Horologium oscillatorium. Paris MDCLXXIII. pg. 4. Fig. I.

2) Der Londoner Uhrmacher Clement erfand die Ankerhemmung im Jahre 1680.

gemeinerte diese Betrachtung, indem er den Fall durch eine beliebige Kurve auf eine Folge von Bewegungen auf geneigter Ebene zurückführte. Er fand, daß unter den von ihm untersuchten Linien eine vorhanden sei, in welcher die Fallbewegung im luftleeren Raum vollkommen isochron verläuft. Es war dies nicht der Kreisbogen, für den Galilei die Isochronie der Schwingungen nachgewiesen zu haben glaubte, sondern die Cykloide. Der tiefste Punkt B der Cykloide ABC (siehe Abb. 46) wird nämlich, wenn ein Körper in dieser Kurve fällt, stets in derselben Zeit erreicht, von welchem der zwischen A und B gelegenen Punkte die Bewegung auch beginnen mag[1]).

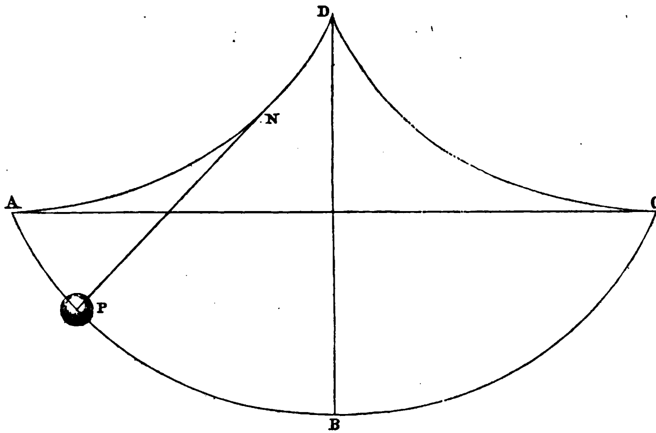


Abb. 46. Huygens beweist, daß die Schwingungen in der Cykloide isochron erfolgen[2]).

Dieses Ergebnis seiner mathematischen Untersuchung wußte Huygens nun sofort auch praktisch zu verwerten. Um dem Pendel anstatt der Kreis- die Cykloidenbewegung zu erteilen, kam es darauf an, daß der Faden, welcher bei dem Kreispendel in jeder Stellung eine gerade Linie bildet, gezwungen wird, sich an eine Kurve von bestimmter Gestalt anzuschmiegen. Die Untersuchung ergab, daß diese Kurve gleichfalls eine Cykloide sein muß. In der Abbildung 46 stimmen dementsprechend die Cykloidenstücke AD und CD mit den Stücken AB und BC überein. Abbildung 47 zeigt uns die von Huygens für sein Cykloidenpendel

1) Horologium oscillatorium, Pars II.
2) Horologium oscillator. Fig. auf pg. 12.

vorgeschlagene Einrichtung. Sie besitzt zwei feste, cykloidisch gekrümmte Backen, denen sich der obere fadenförmige Teil des Pendels anschmiegt. Praktische Verwendung hat das Cykloidenpendel selten gefunden, da das Kreispendel nach Einführung der Ankerhemmung und bei Anwendung kleiner Ausschläge den hinsichtlich der Genauigkeit des Ganges zu stellenden Anforderungen entspricht.

Die Taschenuhr versah Huygens (siehe Abb. 48) mit der jetzt gebräuchlichen Unruhe[1]). Ferner entwickelte er die Theorie des konischen oder Zentrifugalpendels[2]), welches in einem horizontalen, vollen Kreise schwingt, während gleichzeitig der Faden die Kegelfläche beschreibt, eine Vorrichtung, welche später Watt als Regulator der von ihm verbesserten Dampfmaschine verwendet hat.



Abb. 47. Huygens' Cykloidenpendel[4]).

Fügen wir noch hinzu, daß Huygens die Länge des Sekundenpendels zum erstenmal genauer bestimmte (er fand sie gleich 3,0565 Pariser Fuß), daß er ferner die Formel für die Pendelbewegung[3]) und daraus die Beschleunigung für den freien Fall ableitete, so erkennen wir, mit welcher Fülle neuer Entdeckungen die Wissenschaft durch ihn bereichert wurde.

Die Bedeutung von Huygens ist jedoch hiermit bei weitem noch nicht erschöpft. Die bisher gestreiften Leistungen auf dem Gebiete der Mechanik waren nämlich entweder

---

1) Diese Erfindung wurde veröffentlicht im Journal des savants vom 25. Februar 1675.

2) Horologium oscillatorium, Pars V. Eine zusammenfassende Arbeit über die Geschichte der Erfindung der Pendeluhr lieferte E. Gerland in Wiedemanns Annalen, Bd. 4, Seite 585—613.

Gerland schreibt Galilei das Verdienst zu, die Pendeluhr schon 1641, also 15 Jahre vor Huygens erfunden zu haben. Beide Männer seien unabhängig voneinander darauf gekommen. Von Galileis Apparat existiert jedoch nur ein Entwurf. Er ist zehn Jahre nach Galileis Tode nur unvollkommen zur Verwirklichung gelangt. (Siehe Gerland und Traumüller, Geschichte der physikalischen Experimentierkunst. S. 121.)

3) $t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$.

4) Horologium oscillatorium. pg. 4. Fig. II.

praktischer Art, oder sie bestanden in der Betrachtung des einfachen Pendels, worunter ein materieller Punkt verstanden wird, der an einem gewichtslosen Faden schwingt. Bald nachdem die Untersuchungen Galileis in den nördlichen Ländern Europas bekannt geworden waren, hatte nun ein französischer Gelehrter[1]) die Frage aufgeworfen, nach welchen Gesetzen denn die Schwingungen beliebig gestalteter Körper vor sich gingen. Descartes und andere scharfsinnige Mathematiker, darunter auch der damals 17 Jahre alte Huygens, nahmen das Problem in Angriff, ohne eine Lösung finden zu können. Descartes fand zwar eine schärfere Formulierung. „Wie es einen Schwerpunkt in allen frei herabfallenden Körpern gibt,“ sagt er, „so haben alle Körper, die

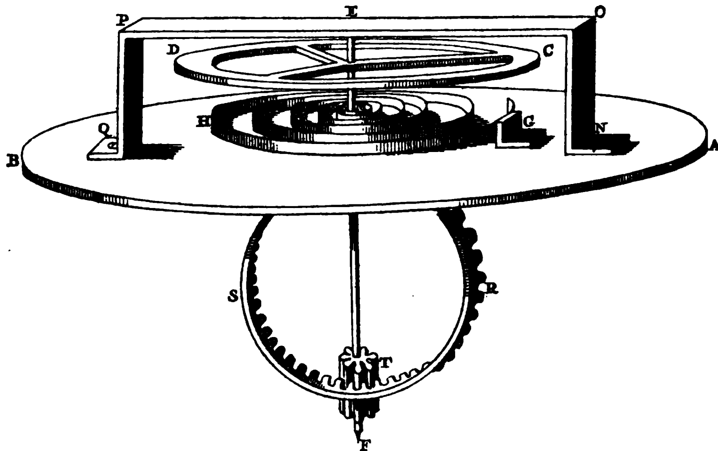


Abb. 48. Huygens' Unruhe.

sich vermöge der Schwere um irgend einen Punkt bewegen, einen Agitationspunkt; und alle Körper, bei welchen dieser Agitationspunkt gleich weit von dem Aufhängepunkt entfernt ist, machen ihre Hin- und Hergänge in derselben Zeit.“ Die Bestimmung dieses Agitations- oder Schwingungsmittelpunktes gelang indes erst Huygens, welcher seine Methode 27 Jahre, nachdem die Frage aufgeworfen war, in seinem Horologium oscillatorium bekannt machte.

Man nehme außer dem materiellen Punkt, welcher das einfache Pendel bildet, auf der Pendellinie noch einen zweiten materiellen Punkt an, der mit dem ersten in fester Verbindung stehe (siehe

1) Der gelehrte, mit den hervorragendsten Männern seiner Zeit in Briefwechsel stehende Pater Mersenne (1588—1648).

Abb. 49). Sucht man nun die Länge o x desjenigen einfachen Pendels zu bestimmen, welches dieselbe Schwingungszeit wie das System a b besitzt, so hat man das Problem des Schwingungsmittelpunktes in seiner einfachsten Gestalt. Der Punkt b wird durch a gehemmt, a durch b dagegen beschleunigt. Mithin wird der Punkt b langsamer und der Punkt a schneller schwingen, als sie es für sich allein tun würden; und es muß zwischen b und a einen Punkt geben, welcher die gleiche Schwingungsdauer besitzt wie das System a b.

Nachdem Huygens den Schwingungsmittelpunkt definiert und gezeigt hat, wie man ihn für die verschiedenen geometrischen Figuren findet, begründet er am Schlusse seines Werkes noch die Theorie der Zentrifugalkraft. Auch hier handelt es sich um eine Erweiterung der Galileischen Lehre von der Pendelbewegung. Wird ein Körper, der sich im Zustande der geradlinigen und gleichförmigen Bewegung befindet, in eine kreisförmige Bahn gezwungen, so übt er einen vom Zentrum dieses Kreises fortgerichteten Zug aus, dem entweder durch einen gleichen Gegendruck oder durch die Spannung eines den Körper und das Zentrum verbindenden Fadens das Gleichgewicht gehalten werden kann. Daß diese Spannung mit der Geschwindigkeit des Körpers wächst, und endlich zum Zerreißen der Verbindung führt, wußte zwar jedermann aus der Erfahrung. Huygens lieferte aber den Beweis, daß die Zentrifugalkraft, welche den Faden spannt, wie das Quadrat der Geschwindigkeit zunimmt und in dem Verhältnis kleiner wird, wie der Radius wächst[1]).



Abb. 49. Das Problem des Schwingungsmittelpunktes.

Die Zentrifugalkraft muß nach diesem Gesetz, schloß Huygens weiter, auf jeden, außerhalb der Drehachse gelegenen Punkt eines rotierenden Körpers wirken. Ist die Verbindung keine starre, besteht der Körper z. B. aus einem plastischen Stoff, so werden infolge der mit der Entfernung von der Achse wachsenden Zentrifugalkräfte Formänderungen eintreten. Zum Beweise des Gesagten wurde eine Tonkugel auf eine durch ihren Mittelpunkt gehende Achse gesteckt und in schnelle Drehung

---

1) $f = m \frac{v^2}{r}$.

versetzt. Die Kugel nahm darauf die Form eines an den Polen abgeplatteten Sphäroids an. Durch diesen Versuch und die vorausgehenden Überlegungen vermochte Huygens nun auch die von ihm beobachtete Abplattung des Jupiter zu deuten. Sie erschien ihm als das sicherste Zeichen, daß dieser Planet, ähnlich wie die Erde, eine Rotationsbewegung besitze. Dann war aber auch die allen bisherigen Gradmessungen zu grunde liegende Ansicht von der Kugelgestalt der Erde eine irrige. Die von Huygens angestellte Berechnung ergab für unseren Planeten eine Abplattung von 1:587. Newton, der sich mit derselben Frage beschäftigte, fand auf theoretischem Wege ein Resultat, welches den Ergebnissen späterer Messungen schon mehr entsprach. Der von ihm berechnete Wert betrug 1:229.

Diese Untersuchungen der beiden großen Mathematiker sollten durch eine merkwürdige Beobachtung, welche zugleich auf die Wichtigkeit der Pendeluhr das hellste Licht warf, ihre Bestätigung finden. Der französische Astronom Jean Richer stellte im Jahre 1672 auf der in der Nähe des Äquators gelegenen Insel Cayenne astronomische Messungen an. Dabei fiel ihm auf, daß seine von Paris mitgenommene Uhr täglich um 2 Minuten zurückblieb. Als er das Pendel um $^5/_4$ Linien[1]) verkürzte, zeigte die Uhr wieder einen richtigen Gang. Nach Paris zurückgebracht, ging sie indes zu schnell, bis dem Pendel seine ursprüngliche Länge wiedergegeben wurde. Huygens erklärte diese Erscheinung als eine Folge der mit der Annäherung an den Äquator zunehmenden Schwungkraft, welche der Schwere entgegenwirkt und unter dem Äquator $^1/_{289}$ der ganzen Kraft der Schwere zu Paris beträgt[2]). Würde demnach, führt Huygens aus, die Erde 17 mal so schnell rotieren ($17^2 = 289$), so würde die Schwere durch die Schwungkraft völlig aufgehoben werden, so daß bei einer weiteren Steigerung der letzteren die am Äquator befindlichen Körper sich von der Erde fortbewegen müßten.

Eine Berechnung Newtons ergab zwar für die Schwungkraft gleichfalls den von Huygens gefundenen Wert. Während letzterer aber noch annahm, daß die Schwere auf der ganzen Erde die gleiche sei und die Änderungen in der Länge des Sekundenpendels

---

1) Newtons Prinzipien (ed. Wolfers) Seite 406.

2) D. h. unter Berücksichtigung der in Paris gleichfalls durch die Zentrifugalkraft hervorgerufenen Verminderung der Schwere. Siehe auch die über diesen Gegenstand von Newton in seinen Prinzipien der Naturlehre (ed. Wolfers) Seite 401 angestellten Berechnungen.

ausschließlich durch die wechselnde Größe der Schwungkraft bedingt würden, zeigte Newton, daß die Schwere, auch wenn man von der Zentrifugalkraft völlig absieht, einen veränderlichen Wert besitzt und mit der Annäherung an den Äquator abnimmt. Für die Notwendigkeit einer Verkürzung des Pendels an Orten geringerer geographischer Breite ergaben sich somit zwei Ursachen, die Verminderung der Schwere und das Anwachsen der einen Teil der letzteren aufhebenden Zentrifugalkraft.

Die Mehrzahl der französischen Gelehrten verhielt sich diesen Ergebnissen gegenüber ablehnend. Man war zunächst geneigt, die von Richer beobachtete Erscheinung auf eine Wirkung der Wärme zurückzuführen, deren Einfluß Newton als zwar meßbar, aber sehr geringfügig annahm, da eine 3 Fuß lange Eisenstange während des Winters nur um 1/6 Linie kürzer sei als im Sommer. Auch gegen die Lehre, daß die Erde ein an den Polen abgeplattetes Sphäroid sei, erhob sich in Frankreich Widerspruch. Dominique Cassini (1625—1712), der Direktor der im Jahre 1667 gegründeten Pariser Sternwarte, für dessen ausgezeichnetes Beobachtungsvermögen die Entdeckung von vier Saturnmonden[1]), sowie der Rotation des Jupiters sprachen, glaubte aus den Resultaten neuerer Gradmessungen schließen zu dürfen, daß die Erde eher ein längliches Sphäroid sei, anstatt an den Polen eine Abplattung aufzuweisen. Die Newtonianer nahmen indes die Beobachtungen an dem Jupiter, welcher entsprechend seiner auffällig raschen Umdrehung[2]) eine starke Abplattung an den Polen zeigt, als einen Analogiebeweis für ihre außerdem durch die oben erwähnten theoretischen Gründe gestützte Ansicht in Anspruch.

Dieser Streit setzte sich bis über das Zeitalter Newtons hinaus fort. Endlich fühlte sich die französische Regierung bewogen, ihn durch genauere Gradmessungen zum Austrag zu bringen. Das Ergebnis war die Richtigkeit der Voraussetzung Newtons, dessen System nunmehr auch in Frankreich einen vollständigen Sieg errang. Wir werden uns mit dieser Lösung des Problems bei der Betrachtung des auf die Newton-Huygensperiode folgenden Zeitraumes, in welchem auch die erste genauere Feststellung der Abmessungen unseres Sonnensystems gelang, zu beschäftigen haben[3]).

1) Cassini entdeckte in den Jahren 1671 bis 1684 den dritten, vierten, fünften und achten Mond des Saturn.

2) Cassini bestimmte deren Dauer zu 9 Stunden 56 Minuten; die Abplattung des Jupiter beträgt 1/14.

3) Siehe an späterer Stelle ds. Bds.

Neben der Optik und der Mechanik, deren Fortschritte, in Verbindung mit einer Weiterentwicklung der mathematischen Wissenschaft, die Astronomie während der Newton-Huygensperiode ganz außerordentlich gefördert haben, wurden die übrigen Zweige der Physik nicht in gleichem Maße berücksichtigt. Auf dem Gebiete der Elektrizitätslehre ist kaum eine nennenswerte Entdeckung zu verzeichnen; hier sollte der weitere Ausbau insbesondere dem 18. Jahrhundert vorbehalten bleiben. Dazu kam, daß das wissenschaftliche Streben in Italien nachließ und Deutschland in seiner Mitarbeit trotz der Entwicklung, welche die experimentelle Technik durch die Arbeiten Guerickes erfahren hatte, zurückblieb. Dieses Land litt unter den Folgen des dreißigjährigen Krieges. Es war verarmt und zerrüttet, während die Wissenschaften auf demjenigen Punkte angelangt waren, wo sie zu ihrer Fortentwicklung nicht nur der moralischen, sondern auch der materiellen Unterstützung weiterer Kreise bedurften. Statt dessen wandten die Machthaber Deutschlands in ihrer steten Geldbedürftigkeit immer noch dem alchemistischen Problem ihr Interesse zu und spendeten für dessen Lösung Mittel, welche eines besseren Zweckes würdig gewesen wären [1]). Unter den wenigen Deutschen, welche während der zweiten Hälfte des 17. Jahrhunderts sich Verdienste um die Förderung der Wissenschaften erwarben, sind vor allem Tschirnhausen und Leibniz zu nennen. Tschirnhausen (1651—1708), ein auswärtiges Mitglied der französischen Akademie, verwandte gleich Guericke bedeutende Summen auf die Verfertigung physikalischer, insbesondere optischer Apparate. Seine aus Kupfer hergestellten Hohlspiegel, deren größter noch heute eine Sehenswürdigkeit Dresdens bildet, erreichten einen Durchmesser von 3 und eine Brennweite von 2 Ellen. Sie waren im stande, einen Taler innerhalb 5 Minuten zu schmelzen, brachten jedoch keine merkliche Erwärmung hervor, als man mit ihrer Hilfe das Licht des Mondes sammelte. Tschirnhausens Linsen besaßen bis 80 Centimeter Durchmesser [2]). Eine von ihnen gelangte nach Florenz und ward zu den Versuchen benutzt, welche man dort im Jahre 1695 über die Verbrennlichkeit des Diamanten anstellte. Im Brennpunkt dieser Linse, welche Porzellan und Bimstein zum Schmelzen brachte,

1) Lehrreich ist in dieser Hinsicht die Geschichte Böttgers, des Erfinders des Porzellans. Siehe dessen aus authentischen Quellen geschöpfte Biographie von Engelhardt. 1837.

2) Siehe Gerland: Beiträge zur Geschichte der Physik. Leopoldina Halle 1882.

verbrannte ein Diamant von 140 Gran Gewicht innerhalh einer halben Stunde.

Der Philosoph Gottfried Wilhelm Leibniz (1646—1716), welcher an Universalität des Geistes alle Zeitgenossen überragte und wohl nur in Aristoteles seines gleichen findet, war seiner ganzen Anlage nach mehr zum Theoretiker als zum Experimentator geschaffen. Unabhängig von Newton, wenn auch später als dieser, erfindet er die höhere Analysis, eins der gewaltigsten Werkzeuge für die weitere Ausgestaltung der Naturwissenschaften. Im Anschluß an Galilei unterscheidet er den bloßen Druck, wie er bei statischen Verbindungen auftritt, unter dem Namen „tote Kraft“ von der Stoßwirkung oder der „lebendigen Kraft“ bewegter Körper. Der letztere Ausdruck hat sich in die Sprache der Mechanik eingebürgert. Leibniz erkannte ferner, daß die Stoßwirkung bewegter Massen und dementsprechend ihre Fähigkeit, Arbeit zu leisten, wie das Quadrat der Geschwindigkeit zunimmt. Er versteht jedoch unter dem Ausdruck „lebendige Kraft“ das Produkt der Masse mit dem Quadrat der Geschwindigkeit, während die wirkliche Energie gleich der Hälfte dieses Produktes ist[1]).

Von Leibniz rührt auch die Idee des Aneroidbarometers her. An einer Stelle schreibt er: „Ich glaube, daß man ein Barometer ohne Quecksilber nach einer Art von wohl verschlossenem Blasebalg oder nach Art einer Pumpe herstellen könnte“[2]). In einem Briefe an Johann Bernoulli finden sich folgende Ausführungen über diesen Gegenstand: „Ich habe zuweilen an ein tragbares Barometer gedacht, welches in einem einer Uhr ähnlichen kleinen Behälter eingeschlossen werden könnte. Quecksilber soll dabei nicht zur Verwendung kommen, sondern eine Art Blasebalg, welchen das Gewicht der Luft zusammenzudrücken sucht, während er durch die Kraft einer elastischen Feder Widerstand leistet.“ Zu einer brauchbaren Ausführung dieses Gedankens kam es erst um die Mitte des 19. Jahrhunderts[3]).

Die Beziehungen, welche Leibniz zum preußischen Königshause, insbesondere zu der geistreichen Königin Sophie Charlotte unterhielt, führten im Jahre 1700 zur Gründung der Berliner Akademie der Wissenschaften.

---

1) mv^2; $\frac{mv^2}{2}$.

2) Leibnizens und Huygens' Briefwechsel mit Papin. Herausgegeben von Gerland. Berlin 1881. S. 222.

3) Durch Vidi. Poggendorffs Annalen 1848. Bd. 73. S. 620.

Wir verdanken Leibniz ferner den Bericht über eine der wichtigsten chemischen Entdeckungen des 17. Jahrhunderts, über die Entdeckung des Phosphors[1]. Der Hamburger Kaufmann Brandt ließ sich bei seinen alchemistischen Versuchen von der Vorstellung leiten, daß die im Organismus tätigen Kräfte allein im stande seien, die Metallverwandlung zu bewirken. Er unterwarf daher den beim Eindampfen von Urin erhaltenen Rückstand der trockenen Destillation. Dabei wurden die phosphorhaltigen Verbindungen des Urins durch die infolge des Erhitzens aus der organischen Materie abgeschiedene Kohle reduziert. Der auf solche Weise[2] von Brandt im Jahre 1669 erhaltene freie Phosphor erregte wegen seiner überraschenden Eigenschaften die Aufmerksamkeit der gesamten gebildeten Welt. Brandt hielt sein Verfahren zuerst geheim. Auf Grund einiger Andeutungen, welche der gleich zu erwähnende Kunkel erfuhr, gelang diesem jedoch gleichfalls die Darstellung.

Zu der Zeit, als der Engländer Boyle sich bemühte, die Chemie auf eine wissenschaftliche Grundlage zu erheben, waren die deutschen Chemiker Kunkel und Becher noch in alchemistischen Vorstellungen befangen. Kunkel (1630—1702) hat indes trotz der Verkehrtheit seiner Ansichten die Chemie durch zahlreiche Beobachtungen bereichert. Einige Jahre nach der Entdeckung des Phosphors zeigte er das neue Element dem Großen Kurfürsten. Dieser ernannte Kunkel zum Leiter seines alchemistischen Laboratoriums, welches er gleich manchen anderen Fürsten des 17. Jahrhunderts unterhielt.

Becher (1635—1682) hielt sich wie Kunkel als Alchemist an deutschen Höfen auf. Er und der etwas spätere Stahl sind die Begründer der Phlogistontheorie, welche trotz ihrer irrigen Voraussetzungen die Chemie des 18. Jahrhunderts beherrscht hat.

Daß die Aufstellung eines den Tatsachen entsprechenden Systems der Chemie so viel später als die Begründung der Mechanik erfolgte, ist in erster Linie darauf zurückzuleiten, daß die Chemie eine vorwiegend induktiv verfahrende Wissenschaft ist, welche sich der deduktiven Behandlung erst in unseren Tagen zu erschließen

---

[1] Leibniz, Historia inventionis phosphori. Miscellanea Berolinensia. 1710. T. I. pg. 91.

[2] Ein Jahrhundert später (1776) zeigte Gahn, daß sich Phosphor aus calcinierten Knochen darstellen läßt, indem man den beim Eindampfen der Knochen mit Schwefelsäure erhaltenen Rückstand mit Kohle destilliert.

beginnt. Was den Fortschritt der physikalischen Zweige, insbesondere der Optik und der Mechanik, so ungemein gefördert hat, war die innige Verbindung und gegenseitige Unterstützung der induktiven und der deduktiven Forschungsweise, von den ersten Schritten auf diesen Gebieten an. Die Grundlagen einer chemischen Theorie zu schaffen, war bei weitem mühevoller, weil die chemischen Vorgänge nicht unmittelbar in die Sinne treten, sondern erst durch eine lange, mühevolle Verknüpfung der Ergebnisse experimenteller Forschung auf dem Wege logischer Verstandestätigkeit erschlossen werden müssen.

Die Chemie hatte indes seit Boyle, Becher und Stahl ihre wahre Aufgabe darin erkannt, die stofflichen Veränderungen auf dem Wege des Experimentes zu erforschen. Insbesondere galt es, die so mannigfachen Wandlungen der Materie, welche mit der Verbrennung Hand in Hand gehen, auf ein einziges Prinzip zurückzuführen. Als solches glaubten Becher und Stahl (1660—1734) eine in den brennbaren Körpern angenommene Materie, welche Stahl als Phlogiston bezeichnete, erkannt zu haben. Der Verbrennungsprozeß sollte in dem Entweichen dieses Phlogistons bestehen. Der brennbare Körper mußte folglich eine Verbindung von Phlogiston mit dem gleichfalls schon in der Substanz enthaltenen Verbrennungsprodukt sein. Je weniger Verbrennungsprodukt, desto reicher war der ursprüngliche Körper an Phlogiston. Kohle, welche nur eine geringe Menge Asche hinterläßt, war demnach nahezu reines Phlogiston. Wurde Zink verbrannt, so zerfiel es in seine Bestandteile Zinkweiß und Phlogiston. Die Wiedergewinnung des Zinks aus dem Zinkoxyd durch Erhitzen mit Kohle bestand in einer Zuführung des in der letzteren enthaltenen Phlogistons. So gelang es in leichtfaßlicher Weise, nicht nur die wichtigen chemischen Vorgänge der Oxydation und Reduktion, sondern auch die Atmung und Verwesung auf ein Grundprinzip zurückzuführen. Die mit der Phlogistontheorie unvereinbare, für manche Fälle bekannte Tatsache, daß das Gewicht des Verbrennungsproduktes dasjenige der unverbrannten Substanz übertrifft, wurde nicht weiter beachtet. Obgleich von einem unrichtigen Grundsatz geleitet, haben die Phlogistiker des 18. Jahrhunderts, unter denen sich Experimentatoren ersten Ranges wie Scheele und Priestley befanden, die Chemie in hohem Grade gefördert. Durch ihr Bemühen, in welchem sie Baustein auf Baustein zusammentrugen, ohne sie in richtiger Weise ordnen zu können, haben sie selbst den Sturz der Phlogistontheorie herbeigeführt und dem Manne, dessen Scharfsinn wir die logische

Verknüpfung der zahllosen chemischen Einzelbeobachtungen verdanken, dem Franzosen Lavoisier, erst sein Werk ermöglicht.

Den Ausgangspunkt für die Darstellung der meisten chemischen Verbindungen bilden die Mineralien. In dem Maße, wie eine wissenschaftlichen Zielen zustrebende Chemie emporwuchs, trat dem praktischen Interesse an den Mineralien, von dem Agricola z. B. noch vorzugsweise geleitet wurde, das wissenschaftliche an die Seite. Es erhob sich die Frage nach der Zusammensetzung und Entstehung nicht nur der Mineralien, sondern der starren Erdrinde überhaupt Um die Beantwortung dieser Frage hat sich niemand während des 17. Jahrhunderts mit gleichem Scharfsinn und gleichem Erfolge bemüht wie Steno.

Nikolaus Steno wurde 1631 in Kopenhagen geboren, widmete sich dem Studium der Medizin und war in den sechziger Jahren des 17. Jahrhunderts Leibarzt am Hofe in Florenz. Dort trat er mit der Accademia del Cimento in enge Fühlung. Steno befaßte sich eingehend mit der Erforschung der Bodenverhältnisse Toskanas. Die Frucht dieser Untersuchung war eine Arbeit, welche zum erstenmal die Grundlagen der geologischen Wissenschaft in klarer, durch Profile erläuterter Darstellung entwickelte, während die Literatur vor Steno nur vereinzelt zutreffende Bemerkungen über geologische Dinge enthält[1]).

Zunächst bemühte er sich darzutun, daß weder die Mineralien noch die Schichten, welche die Gebirge zusammensetzen, erschaffene, von Anbeginn vorhandene Naturkörper sind, als welche sie im Gegensatz zu der vergänglichen Tier- und Pflanzenwelt wohl der naiven Betrachtung erscheinen. Die Mineralien, deren am Bergkristall, Schwefelkies und Diamant auftretende Formen Steno beschrieb, wachsen nach ihm durch Ansatz von außen. Dieser Ansatz erfolgt indes nicht auf allen Flächen gleichmäßig. Die Folge sind Verzerrungen der mathematischen Form, während die Neigung der begrenzenden Flächen stets dieselbe bleibt. Steno hat also schon das Grundgesetz der Mineralogie, das Gesetz von der Konstanz der Kantenwinkel, klar ausgesprochen, wenn es auch in seiner Allgemeingültigkeit erst in dem nachfolgenden Jahrhundert von Romé de l'Isle erkannt wurde.

Während die Mineralien aus wässeriger Lösung auskristallisieren, ein Vorgang, den Steno aus einer Art magnetischer Kraft

[1]) Steno, de solido inter solidum naturaliter contento, Florenz 1669. Ein von Élie de Beaumont herrührender Auszug dieser Schrift findet sich in den „Annales des sciences naturelles". XXV. pg. 337.

erklären wollte, sind die Felsschichten durch Absatz vorher im Wasser schwebender Teilchen entstanden. Letztere haben, dem Gesetz der Schwere folgend, Schichten von ursprünglich horizontaler Lage gebildet. Für den Absatz aus dem Wasser spricht nach Steno auch die Tatsache, daß die niedersinkenden Teilchen sich den Körpern, welche sie einschließen, genau angepaßt haben und ihre kleinsten Höhlungen ausfüllen. Enthält eine Schicht Seesalz, sowie Überreste von Meeresbewohnern, so muß man annehmen, daß sich das Meer einst dort befand, wo wir die Schicht jetzt antreffen; sei es nun, daß das Meer einst höher stand, sei es, daß das Land sich senkte. Aus Abdrücken von Gräsern und Simsen, Versteinerungen von Baumstämmen u. s. w. schließt Steno auf den terrestrischen Ursprung derjenigen Schicht, in welcher solche Überreste enthalten sind. Er nimmt an, daß derartige Bildungen von der Überschwemmung eines Flusses oder dem Hereinbrechen eines Bergstromes herrühren. Nicht richtig gedeutet werden die Kohlenlager. Sie werden nämlich auf durch Wasser gelöschte Waldbrände zurückgeführt.

Steno unterschied, wie ihm A. v. Humboldt[1]) nachrühmt, zum erstenmal diejenigen Felsschichten, welche schon vor der Existenz der Pflanzen- und Tierwelt vorhanden waren und infolgedessen keine organischen Überreste einschließen, von den späteren Schichten, die jenen aufgelagert und mit organischen Resten angefüllt sind. „Er ließ für den Boden Toskanas nach Art unserer heutigen Geologen sechs große Naturepochen zu, innerhalb deren das Meer periodisch das feste Land überschwemmte oder sich in seine alten Grenzen zurückzog[2]).“ Daß die Schichten nur selten ihre ursprünglich horizontale Lage beibehielten, sondern in der Regel in geneigter und selbst senkrechter Stellung angetroffen werden, führt Steno auf zwei Ursachen zurück. Entweder wurden die Schichten durch Stöße zertrümmert, welche aus der Tiefe kamen, oder es erfolgte ein Einsturz, indem die unteren Schichten durch die Tätigkeit des Wassers fortgeführt und dadurch die oberen ihrer Stütze beraubt wurden.

Auch der vielseitige Hooke, sowie Descartes und Leibniz beschäftigten sich mit der Frage nach der Entstehung unserer Erde. Letztere beiden hielten sie für einen ursprünglich sonnenartigen, glühenden Weltkörper, welcher infolge von Abkühlung

---

1) Humboldt, Essai géognostique. Paris 1823, pg. 38.
2) Humboldt a. a. O.

erstarrt sei. Die Erdbeben führte Descartes auf die Wirkung einer noch im Innern vorhandenen flüssigen Masse zurück. Beide Philosophen entwickelten also schon ähnliche Anschauungen, wie sie später Kant bei der Aufstellung seiner Weltbildungstheorie vorgeschwebt haben.

Zu bemerkenswerten Ansichten gelangte auch Hooke[1]). Dieser führte aus, daß die Versteinerungen, welche man in früheren Jahrhunderten für Naturspiele oder für bloße Ansätze einer in der Erde waltenden schöpferischen Kraft hielt, aus dem Tier- und Pflanzenreiche stammen müßten. Als organische Überreste hatte sie auch schon Agricola angesprochen, bei dem uns gleichfalls die Vorstellung von dem Zentralfeuer begegnet. Hooke suchte ferner darzutun, daß die Petrefakten Englands zum größten Teile ausgestorbenen Gattungen angehören und am meisten mit noch heute lebenden exotischen Formen übereinstimmen. Daraus zog er den Schluß, England müsse sich in früheren Epochen der geologischen Entwicklung unter dem Meere einer heißen Zone befunden haben. Ferner wurden die Knochen großer Vierfüßer, welche man vorher als Beweise für die frühere Existenz von Riesen angesehen hatte, als Überreste von Individuen der Gattung Elephas gedeutet[2]).

Von besonderem Interesse ist auch der Versuch, die unterirdische Wärme als eine Folge chemischer Vorgänge hinzustellen, eine Annahme, die in unseren Tagen wieder ihre Verfechter gefunden hat. Es zeigten sich sogar die ersten Regungen einer experimentellen Geologie. So versuchte ein französischer Forscher[3]) einen Vulkan im kleinen dadurch herzustellen, daß er ein feuchtes Gemenge von Schwefel und Eisen vergrub, welches sich unter dem Einflusse des aus der Luft hinzutretenden Sauerstoffs erhitzte. Neben die bloße Beschreibung tritt hier also als gleichberechtigt das Streben nach einer ursächlichen Deutung der Erscheinungen. Auch auf den übrigen Gebieten der Naturwissenschaft, der Botanik und der Zoologie, begegnen uns die ersten Regungen eines solchen Strebens. Schon im 16. Jahrhundert hatte man sich nicht mehr auf die bloße Beschreibung der äußeren Form und eine im wesentlichen hierauf gegründete Systematik beschränkt, sondern begonnen auch auf die innere Gestaltung des tierischen Organismus, sowie

1) Hooke, Lectures on Earthquakes, 1688.
2) Dies geschah durch Langmantel im Jahre 1688.
3) N. Lemery.

auf seine Entwicklung Rücksicht zu nehmen. In weit höherem Maße gilt dies von dem 17. Jahrhundert, als sich durch das Mikroskop nicht nur dem Anatomen die feineren Formverhältnisse des Tierkörpers erschlossen, sondern die ohne eine Verschärfung der Sinnesorgane gar nicht mögliche Anatomie der Pflanzen überhaupt erst begründet wurde. Der Richtung jener Zeit entsprechend, welche auf ein Zurückführen der in der anorganischen Natur obwaltenden Vorgänge auf physikalische Grundsätze abzielte, regte sich auch das Bestreben, die Funktionen des lebenden Organismus aus der Mechanik zu erklären. Kurz, es sind die Anfänge desjenigen mehr durch seine Methode als durch den Gegenstand charakterisierten Wissenszweiges, den wir als Biologie im heutigen Sinne bezeichnen, welche wir in diesem Zeitalter antreffen.

Die größte Errungenschaft auf diesem Gebiete ist die von dem Engländer Harvey (1578—1658) begründete Lehre von dem Kreislauf des Blutes. Die seit Vesal emporblühende Anatomie hatte eine Reihe von Tatsachen zutage gefördert, welche mit den herrschenden Ansichten Galens[1]) sich nicht vereinigen ließen. Das Ansehen des letzteren war jedoch selbst bei Harvey noch so groß, daß er fast ein Jahrzehnt nach seiner Entdeckung verstreichen ließ, ehe er letztere in seinem „anatomischen Übungsstück über die Bewegung des Herzens und des Blutes“ bekannt zu geben wagte[2]). Als neu enthalten Harveys Ausführungen folgende Punkte: Das Herz verhält sich wie ein Muskel. Es wird beim Zusammenziehen härter und blässer und stößt das Blut, das passiv aufgenommen wird, von sich. Das bei der Systole des Herzens fortgetriebene Blut gelangt in die Arterien, welche sich also in der Diastole befinden, wenn das Herz sich zusammenzieht. Aus den Verzweigungen der Arterien tritt das Blut in die Venen über und fließt in diesen zum Herzen zurück, so daß das letztere in einer bestimmten Zeit von der ganzen Masse des Blutes durchströmt wird.

Dieselbe Bedeutung, welche für die Astronomie das Fernrohr gewonnen hatte, erlangte für die Biologie das einige Jahrzehnte früher als jenes Instrument erfundene Mikroskop[3]). Letzterem wurde jedoch zunächst nur ein geringes Interesse geschenkt. Selbst Leeuwenhoek, der in der zweiten Hälfte des 17. Jahrhunderts

[1]) Siehe Seite 56 ds. Bds.

[2]) Exercitatio anatomica de motu cordis et sanguinis in animalibus. Francof. 1628.

[3]) Siehe Seite 116 ds. Bds.

die Erforschung kleinster Lebewesen außerordentlich förderte, verwandte dazu einfache bikonvexe Linsen und erzielte mit ihnen eine 160fache lineare Vergrößerung. Solche Linsen, deren sich auch Huygens bediente, waren nur stecknadelknopfgroß. Ihr Gebrauch erforderte keine geringe Geschicklichkeit und ein hervorragendes Sehvermögen. Letzteres, sowie die Sorgfalt im Beobachten wurden durch die Verwendung des einfachen und des zusammengesetzten Mikroskops in solchem Maße gesteigert, daß



Abb. 50. Hookes zusammengesetztes Mikroskop (Hookes Micrographia, Schem. I, Fig. 5/6).

auch das unbewaffnete Auge Dinge wahrnehmen lernte, welche früher der Beobachtung gänzlich entgangen waren.

Erst im Jahre 1660 erhielt das zusammengesetzte Mikroskop durch Robert Hooke denjenigen Grad der Vollendung, der es zu wissenschaftlichen Untersuchungen geeignet machte. Um den Zeitgenossen die Brauchbarkeit seines Instrumentes (siehe Abb. 50) zu beweisen, veröffentlichte Hooke im Jahre 1667 seine „Micrographie oder Beschreibung kleiner Gegenstände“. Eine Beteiligung an der Lösung biologischer Probleme lag also weniger in der Absicht

dieses Forschers; trotzdem machte er eine Entdeckung von der größten Tragweite. Hooke war nämlich der erste, welcher den zelligen Bau der Organismen wahrnahm, ohne indes im entferntesten die Bedeutung des Gesehenen zu ahnen. Als er den dünnen Schnitt eines Flaschenkorkes betrachtete, erblickte er zahlreiche, durch Wände getrennte Räume, denen er die bis auf den heutigen Tag für die Elementarorgane des Tier- und Pflanzenkörpers gebliebene Bezeichnung „Zellen“ gab. Hooke berechnete, daß 1200 Millionen solcher Zellen auf einen Kubikzoll Kork kommen. Die nebenstehende Abb. 51 ist eine Wiedergabe des ältesten Bildes, welches den zelligen Bau der Korksubstanz erläutert [1]). Die gleiche Art des inneren Gefüges wies Hooke für das Mark des Hollunders, sowie für das Holz verschiedener Pflanzen nach. Dabei entging ihm nicht, daß die Zellen oft langgestreckt und im frischen Zustande mit Saft gefüllt sind.

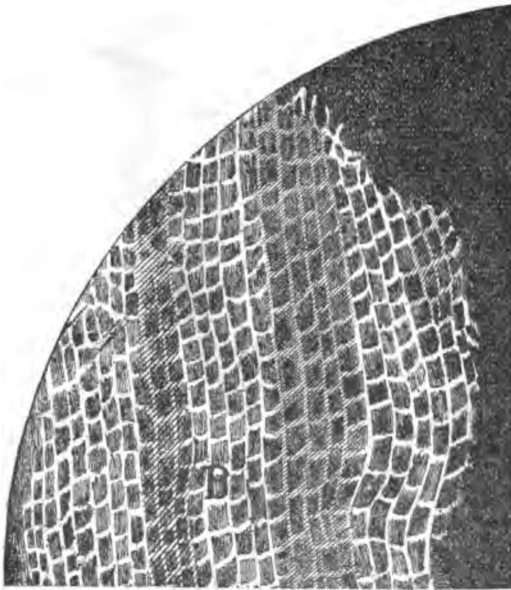


Abb. 51. Die älteste Abbildung, welche den zelligen Bau der Korksubstanz erläutert. Hookes Micrographia, Schem. XI, Fig. 1.

Hooke bildet ferner den Stachel der Biene ab, dessen Widerhaken deutlich zu erkennen sind. Auch die Häkchen, welche die feinsten Äste der Federn verbinden, sind in der Mikrographie dargestellt, wie sich denn überhaupt der Verfasser dieses Werkes mit einer fast kindlich zu nennenden Wißbegierde mit allem beschäftigt, was sich ihm zufällig darbietet. Die ersten planmäßigen Untersuchungen auf den durch die Verbesserung des Mikroskops erschlossenen Gebieten sollten jedoch nicht lange auf sich warten

---

1) Hooke, Micrographia or some physiological descriptions of minute bodies. London 1667. pg. 112 (Observat. XVIII).

lassen, Sie erfolgten durch Nehemia Grew, einen Landsmann Hookes, und den als Anatomen und Physiologen hervorragenden Italiener Malpighi. Beide Männer legten die Ergebnisse ihrer Forschungen fast gleichzeitig (im Jahre 1671) der Royal Society vor. Eine ausführliche Darstellung gaben sie in zwei umfangreichen, erst mehrere Jahre später veröffentlichten Werken [1]).

Die von Grew und Malpighi angestellten ersten pflanzenanatomischen Untersuchungen verfolgen nicht etwa schon das Ziel, die Zelle, deren Inhalt man erst viel später seinem Wesen nach verstehen lernte, als das Grundorgan aller Pflanzenteile nachzuweisen. Neben der Beschreibung der mit bloßem Auge nur unvollkommen sichtbaren äußeren Pflanzenteile, insbesondere der Blütenorgane, Knospenanlagen, Früchte, Samen u. s. w., beschränken sie sich auf die Darstellung grob anatomischer Verhältnisse. Ihre Untersuchung läuft mehr auf eine Zergliederung der Organe in die einzelnen Gewebe als auf den Nachweis der Gewebselemente und deren gesetzmäßige Verknüpfung hinaus. Das ganze Verfahren ist also analytisch. Als Elemente der Gewebe werden Fasern und Zellen unterschieden. Malpighi weist insbesondere auf die große Verbreitung der Spiralröhren hin. Überall wird die Frage nach der Funktion der beschriebenen Elemente mit den anatomischen Befunden verknüpft. Die Physik und insbesondere die Chemie waren indes noch nicht im stande, der Pflanzenphysiologie ihre unentbehrliche Hilfe zu gewähren, so daß die Fragen nach der Saftbewegung und der Ernährung, obwohl sie im Mittelpunkte des Interesses standen, keine sachgemäße Behandlung finden konnten. Malpighi, der

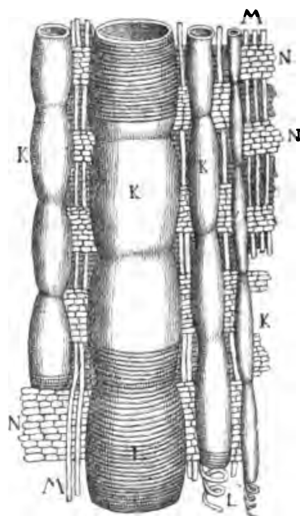


Abb. 52. Malpighis Darstellung eines Längsschnittes durch das Holz der Rebe. Man erkennt die Spiralgefäße (K), die Holzfasern (M) und horizontal verlaufende Zellreihen (N) [2]).

[1]) Malpighi, Anatome plantarum. 1675. Grew, The anatomy of plants. 1682.

[2]) Siehe Marcellus Malpighi, Die Anatomie der Pflanzen, bearbeitet von M. Möbius. Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften. Nr. 120. S. 31. Leipzig, Verlag von Wilhelm Engelmann, 1901.

sogar eine peristaltische Bewegung in den Spiralröhren wahrgenommen haben wollte, gelangte immerhin zu der für die weitere Entwicklung der Ernährungsphysiologie grundlegenden Erkenntnis, daß die Blätter diejenigen Organe sind, welche die Nahrung der Pflanzen bereiten. Auch zeigte er, daß das Produkt der Assimilation von hier aus in die übrigen Teile des Organismus gelangt und dort entweder zunächst aufgespeichert oder sofort zum Wachstum verwendet wird.

Die von Malpighi und Grew begründete Anatomie der Pflanzen wurde zunächst nicht fortentwickelt. Die Physiologen und in noch höherem Grade die Systematiker der nachfolgenden Zeit glaubten dieses Zweiges der botanischen Wissenschaft entraten zu können. Auch erfuhr das Mikroskop zunächst noch nicht diejenige Vervollkommnung, welche es zur Aufhellung feinerer anatomischer Einzelheiten befähigt hätte. So kam es, daß der weitere Ausbau des in der zweiten Hälfte des 17. Jahrhunderts erschlossenen Gebietes erst im Beginn des 19. Jahrhunderts anhub, um dann in rascher Folge zu Ergebnissen zu führen, welche das Gesamtbild der Botanik wesentlich verändert und dazu beigetragen haben, daß sie auf den Rang einer induktiven Wissenschaft erhoben wurde.

Die systematische Bearbeitung des Pflanzenreiches hatte sich schon während des 16. Jahrhunderts nach zwei verschiedenen Richtungen entwickelt, von denen die eine, eine natürliche Anordnung bezweckende, auf Bock und Brunfels zurückzuführen ist, während die zweite Richtung in Caesalpin, dem Begründer des ersten künstlichen Systems, ihren Hauptvertreter fand.

Die Tatsache, daß der Keimling bald ein, bald zwei oder auch gar keine Keimblätter besitzt, wird zum erstenmal systematisch verwertet. Damit werden die großen natürlichen Gruppen der Dikotylen, der Monokotylen und der Akotylen (Kryptogamen) geschaffen[1]). Ferner treten uns die Labiaten, Leguminosen, Gräser, Stellaten u. s. w. als kleinere, natürliche Gruppen entgegen. Auf der anderen Seite schloß sich an das System Caesalpins, welches seine scharfen Unterscheidungen auf bestimmte Merkmale des Samens und der Frucht gründete, ein Versuch an, die Beschaffenheit der Blumenkrone den Zwecken einer künstlichen Systematik dienstbar zu machen[2]).

Gegen das Ende des 17. Jahrhunderts erfolgte dann eine vom

---

1) John Ray (1628—1705) in seiner Historia plantarum. 1686.

2) Tournefort (1656—1708), Professor am Jardin des plantes zu Paris.

Altertum schon vorgeahnte Entdeckung auf dem Gebiete der Pflanzenphysiologie, welche berufen war, auf die weitere Entwicklung der Systematik den größten Einfluß auszuüben. Es war dies der Nachweis der Sexualität der Pflanzen durch den Tübinger Professor Camerarius[1]). Wenn die Botaniker des 16. und 17. Jahrhunderts von männlichen und weiblichen Pflanzen redeten, so geschah es nur in bildlichem Sinne, um dadurch eine oft nicht verkennbare Verschiedenheit im ganzen Aussehen zu bezeichnen. Caesalpin und Malpighi nahmen an, daß die Entstehung des Samens ein der Knospenbildung entsprechender Vorgang sei. Den Staubgefäßen und den Blumenblättern fiel nach ihrer Meinung die Aufgabe zu, einen Teil der Feuchtigkeit an sich zu ziehen, damit in den übrigen Teilen der Blüte ein umso reinerer Saft zur Bildung des Samens zurückbleibe.

Camerarius ging dagegen von der Beobachtung aus, daß ein nur Früchte tragender Maulbeerbaum, in dessen Nähe sich kein Kätzchen tragendes Exemplar befand, taube, hohle, zur Keimung unfähige Samen hervorbrachte. Er entschloß sich darauf, das Verhältnis, in welchem die verschiedenartig gestalteten Individuen derselben Pflanzenart zueinander stehen, auf dem einzig Erfolg versprechenden Wege des Versuches zu erkunden. Camerarius wählte dazu eine der gemeinsten zweihäusigen Pflanzen, das jährige Bingelkraut (Mercurialis annua). Sonderte er die fruchtbringenden Exemplare völlig ab, so zeigte sich, daß in diesem Falle die Samen nicht zur Entwicklung gelangten. Darauf ging er zu Versuchen mit solchen Pflanzen über, welche Staubgefäß- und Stempelblüten auf demselben Individuum erzeugen. Wurden z. B. bei Ricinus und Mais die ersteren entfernt, bevor die Antheren zur Entwicklung gelangt waren, so erhielt er in keinem Falle reife Samen. „Es erscheint daher gerechtfertigt,“ schließt Camerarius, „den Antheren die Bedeutung von männlichen Geschlechtsorganen beizulegen, in welchen der Same, jenes Pulver nämlich, ausgeschieden wird. Ebenso ist einleuchtend, daß der Fruchtknoten mit seinem Griffel das weibliche Geschlechtsorgan der Pflanze darstellt[2]).“

---

1) Rudolf Jakob Camerarius wurde 1665 in Tübingen geboren und starb daselbst 1721. Im Jahre 1688 wurde er Professor und Direktor des botanischen Gartens in Tübingen.

2) Camerarius, De sexu plantarum epistola, datiert vom 25. August 1694. Herausgegeben von J. G. Gmelin, Tübingen 1749. Eine Ausgabe in deutscher Übersetzung veranstaltete M. Möbius. Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften. Nr. 105. Leipzig, Verlag von Wilhelm Engelmann, 1899. Siehe auch den 24. Abschnitt von Bd. I d. Grdr.

Eine Einsicht in die Art des Befruchtungsvorganges war damit allerdings noch nicht gewonnen. Camerarius hielt es sogar für selbstverständlich, daß in jenem häufigsten Falle, in welchem Staubgefäße und Stempel in einer Blüte vereinigt sind, die Befruchtung zwischen diesen nahe benachbarten Teilen stattfinde, während doch in der Tat die Natur, wie spätere Untersuchungen dargetan haben, alle erdenklichen Veranstaltungen trifft, um eine Selbstbefruchtung der Zwitterblüten zu verhindern. Einen der Vereinigung der Geschlechter in diesen Blüten entsprechenden Hermaphroditismus hatte der zur Zeit des Camerarius lebende Swammerdam im Tierreich, und zwar an den Schnecken, aufgefunden. Camerarius erwähnt diese Beobachtung und bemerkt dazu, daß dieser Fall, der im Tierreich eine Seltenheit bedeute, bei den Pflanzen eben die Regel sei. Gleichzeitig wundert er sich darüber, daß die Schnecken sich nicht selbst befruchten, während dies doch, wie er annimmt, bei den Pflanzen stattfinde.

Linné, welcher bald darauf die Systematik durch Errichtung seines auf die Sexualität gegründeten Systems zu einem vorläufigen Abschluß brachte, fußte, was diese Grundlage anbetraf, wesentlich auf Camerarius, dessen Lehre durch ihn keine nennenswerte Fortbildung erfuhr. Letzteres geschah erst durch die Untersuchungen Kölreuters, welche indes späterer Besprechung vorbehalten bleiben.

Wie für die Botanik, so besteht auch für die Zoologie der wesentlichste Fortschritt des 17. Jahrhunderts in der Erschließung der Welt des Kleinen mit Hilfe des einfachen und des zusammengesetzten Mikroskops. Man wird jetzt mit Lebewesen näher bekannt, denen man bisher ihrer geringen Körpergröße wegen kaum oder garnicht Beachtung geschenkt hat. Mit Erstaunen und Bewunderung erkennt man, daß ihr Inneres, welches dem unbewaffneten Auge als eine gleichartige Masse erscheint, einen Bau aufweist, der in seinem Plane demjenigen der höheren Tiere durchaus nicht nachsteht. Der Ausspruch des Plinius „Natura in minimis maxima“ wird jetzt erst als wahr erkannt. Wie auf dem Gebiete der Pflanzenanatomie sucht man, geleitet von dem Zweckmäßigkeitsbegriff, nach einem Verständnis für das Geschaute. Durchdrungen von dem Gedanken, daß der Schöpfer alles planvoll eingerichtet habe und in seinen Werken zu erkennen sei, sehen wir den Holländer Swammerdam seine mühevollen Untersuchungen über den Bau und die Entwicklung der Insekten vollbringen. Der Leser ist durch den 21. Abschnitt des I. Bandes mit Swammerdams Abhandlung über den Bau und die Entwicklung der Bienen bereits

bekannt geworden. Nach einem Ausspruch Boerhaves[1]), der Swammerdams Bibel der Natur herausgab, ist das Buch über die Bienen ein Werk, das bis auf jene Zeiten nicht seinesgleichen gefunden hatte. Wie Boerhave ferner mitteilt, ist es im Anfang der 70er Jahre des 17. Jahrhunderts entstanden, und habe sich Swammerdam, dessen Augen durch die unermüdliche Anstrengung schließlich „ganz stumpf geworden" seien, daran „zu schanden" gearbeitet.

Jan Swammerdam wurde am 12. Februar 1637 zu Amsterdam geboren. Sein Vater war Apotheker und besaß ein hervorragendes Interesse für Naturalien. Er hatte in einem Zeitraum von 50 Jahren eine reiche Sammlung geschaffen. Der heranwachsende Sohn wurde mit ihrer Instandhaltung betraut und gewann infolgedessen einen unbezwinglichen Drang zur Naturforschung. Boerhave erzählt, der Knabe sei allen Tierchen seiner Umgebung nachgegangen und habe Luft und Wasser, Felder, Wiesen, Sandberge, Kräuter u. s. w. nach ihnen durchsucht, um ihre Eier, Nahrung, Wohnung und Krankheiten kennen zu lernen. Als er später in Leyden sich dem Studium der Medizin hingab, schloß Swammerdam sich besonders eng an seinen Lehrer der Anatomie an. Nach Beendigung seiner Studien ging er jedoch nicht dem ärztlichen Berufe nach, sondern wandte die erworbenen anatomischen Kenntnisse auf die Zergliederung der kleinsten Lebewesen an, deren äußere Formen und Lebensgewohnheiten ihn während seiner Knabenzeit schon in solch hohem Grade gefesselt hatten.

Seinen Fleiß im Nachspüren nennt Boerhave mehr als menschlich. Sobald ihm die Sonne hinreichendes Licht spendete, begann er unter freiem Himmel seine feinen Präparate zu betrachten. Während der Abend- und Nachtstunden wurde beschrieben und gezeichnet. Bei der Untersuchung benutzte er Gläser von sehr verschiedener Schärfe. Der betreffende Gegenstand wurde zuerst bei schwacher Vergrößerung untersucht, dann betrachtete er ihn mit immer kleineren Linsen. Die Scheren, Messer und Lanzetten, deren sich Swammerdam bediente, waren so klein, daß er sie unter dem Vergrößerungsglase schleifen mußte. Um den Verlauf der zarten Gefäße zu verfolgen, blies er sie mit Hilfe feiner gläserner Röhren auf, oder er füllte sie mit gefärbten Flüssigkeiten. Auf solche Weise pflegte er die Gedärme einer Biene

---

[1]) Boerhave (1668—1738) war Professor der Chemie und der Botanik in Leyden.

so deutlich zu zeigen, wie man es bisher nur an größeren Tieren zu tun vermochte. Swammerdams zootomische Arbeiten erstreckten sich auch auf die Weichtiere und die Amphibien. Der Bau und die Entwicklung des Frosches z. B. wurden von ihm mit einer so weitgehenden Genauigkeit untersucht, daß seine Befunde zum Teil erst durch Arbeiten der neuesten Zeit ihre Bestätigung gefunden haben [1]).

Durch Swammerdam, sowie den gleichzeitig lebenden Italiener Redi wurde ferner die seit Aristoteles in den Köpfen der Gelehrten wie der Ungelehrten spukende Ansicht von der Urzeugung niederer Tiere wenn auch nicht gänzlich beseitigt, so doch für zahlreiche Fälle widerlegt. Wie in früheren Jahrhunderten verschanzte sich nämlich auch im 18. die Unwissenheit stets wieder hinter dieser Irrlehre. Harvey, welcher in seiner Schrift über die Erzeugung der Tiere [2]) Hervorragendes geleistet und das Wort „Ex ovo omnia" an die Spitze dieser Schrift gestellt hatte, besaß durchaus keine klaren Vorstellungen über die Entwicklung der Insekten und der übrigen niederen Tiere. „Einige Geschöpfe," sagt er, „werden aus einem schon fertigen Stoffe vollends gebildet und aus einer Gestalt in die andere verändert. Alle Teile werden zugleich durch eine Verwandlung geboren und unterschieden. So geschieht die Zeugung der Insekten [3])." Harvey zeigte sich in der Behandlung dieser Frage also noch ganz von Aristoteles, sowie der landläufigen Auffassung beeinflußt, für welche schon mit dem Worte „Verwandlung" der Irrtum eng verknüpft war. Welch sonderbare Vorstellung man mit diesem Worte verband, geht auch aus folgenden Ausführungen Harveys hervor: „Durch die Verwandlung erhalten die Tiere eine Gestalt wie durch ein eingedrücktes Siegel. Bei solchen Tieren aber, welche durch Wachstum entstehen, bringt die Bildungskraft andere und anders geordnete Teile nacheinander hervor [4])." Wenn man bedenkt, daß einer der hervorragendsten Anatomen des 17. Jahrhunderts solche Vorstellungen hegte, ein Mann, welcher selbst heute wohl noch auf Grund des oben erwähnten Wortes als ein Bekämpfer der Lehre von der Urzeugung betrachtet wird [5]), so erscheint die Bedeutung

---

1) Siehe Carus, Geschichte der Zoologie, München 1872. Seite 403.

2) Harvey, Exercitationes de generatione animalium. London. 1651.

3) De gener. animal. XLV. Leydener Ausgabe vom Jahre 1737. Seite 161.

4) A. a. O. Seite 162 und 163.

5) Siehe auch „Harvey, Über die Erzeugung der Tiere" von W. Preyer. Zeitschrift Kosmos: II. Jahrgang. Seite 396.

Swammerdams erst im vollen Lichte. Wo der letztere das Wort Verwandlung gebraucht, will er darunter nichts anderes verstanden wissen als einen langsamen, auf natürliche Weise vor sich gehenden Auswuchs der Gliedmaßen, welcher unter der ursprünglichen Hülle stattfindet und sich daher der unmittelbaren Beobachtung entzieht, bis die neue Form die alte Haut plötzlich zersprengt.

Swammerdam hält es für ausgemacht, daß in der ganzen Natur keine Urzeugung, sondern nur Fortpflanzung stattfindet und daß jedes wirbellose Tier aus einem Ei hervorkommt, welches ein anderes Tier derselben Art gelegt hat. Zwar ist es ihm nicht möglich, für alle Fälle diese Ansicht durch die Beobachtung als richtig zu erweisen. Das von ihm beigebrachte Material ist indes umfangreich genug, um diese nur auf induktivem Wege zu erlangende Verallgemeinerung zu rechtfertigen. Dazu tritt der von ihm geführte Analogiebeweis durch die Aufdeckung einer von den Anhängern der Urzeugung nicht vermuteten Feinheit im inneren Bau der niederen Tiere. „Alle Züge des Apelles", sagt Swammerdam in seiner Anatomie des Nashornkäfers[1]), „sind gegen die zarten Striche der Natur nur grobe Balken. Alles künstliche Gewebe der Menschen muß sich vor einer einzigen Trachee verkriechen. Wer will sie abbilden? Welcher Witz vermag sie zu beschreiben? Welcher Fleiß kann sie hinlänglich untersuchen?" Da also die Organe der Insekten sich als ebenso vollendet, zweckmäßig und kunstvoll gearbeitet erwiesen wie diejenigen der allergrößten Geschöpfe, so konnten diese Tiere auch unmöglich, wie die Anhänger der Urzeugung wollten, durch einen zufälligen Zusammenfluß der Teile entstanden sein, sondern sie mußten sich gleich den höheren Geschöpfen durch elterliche Zeugung gebildet haben.

Indem Swammerdam bei den Insekten die verschiedenen Arten der Entwicklung unterschied, schuf er zugleich die Grundlagen für die heutige Systematik dieser Tierklasse. Der erste Fall besteht darin, daß das Tier in allen seinen Gliedmaßen vollkommen ausgebildet das Ei verläßt. Als Repräsentant dieser Gruppe wird die Laus genauer untersucht. Bei dem zweiten Typus findet nur ein allmähliches Heranwachsen der Flügel statt, ein Ruhezustand (Puppenstadium) tritt nicht ein. Swammerdam verfolgt diesen Vorgang bei der Libelle. Bienen, Ameisen und Käfer kommen unentwickelt aus dem Ei hervor und erhalten die vollkommene

1) Bibel der Natur. 1752. Seite 126.

Gestalt durch allmähliche Ausbildung der Gliedmaßen unter der Haut. „Endlich," sagt Swammerdam, „treten alle Glieder, nachdem die Haut abgestreift ist, hervor. Der Vorhang, der soviel Irrungen unter den Gelehrten angerichtet hat, wird sozusagen fortgezogen."

Wie erstaunte aber unser Forscher, als einmal aus vier Puppen eines Tagschmetterlings anstatt der erwarteten Falter 500 kleine geflügelte Insekten hervorbrachen! Eine Erklärung dieser merkwürdigen Erscheinung konnte erst später erfolgen, als man das geheimnisvolle Treiben der Schlupfwespen kennen gelernt hatte. Diese legen bekanntlich ihre Eier in die Larven anderer Kerbtiere, so daß die Puppe von der sich entwickelnden jungen Brut, welche endlich die Haut durchbricht, aufgezehrt wird. Swammerdam fügt seiner Mitteilung die Bemerkung hinzu, es scheine, als habe sich das Leben der vier Tiere auf 500 andere verteilt.

Einen Bundesgenossen, der auf dem Wege des planmäßigen Versuches gleichfalls zur Erschütterung der Lehre von der Urzeugung beitrug, fand Swammerdam in dem Italiener Redi[1]). Redi lieferte in einer 1668 erschienenen Schrift, die er „Versuche betreffend die Erzeugung der Insekten" betitelte, den Nachweis, daß in den von ihm untersuchten Fällen vermeintlicher Urzeugung die Insekten nicht aus den in Fäulnis befindlichen Stoffen, sondern aus Eiern entstehen, welche Tiere derselben Art vorher in die betreffenden Substanzen gelegt haben. In richtiger Vorahnung der Erkenntnis einer späteren Zeit bemerkt Swammerdam hierzu, kein Tier werde durch Fäulnis erzeugt, sondern es werde umgekehrt die Fäulnis erst durch Tiere verursacht.

Am bekanntesten ist Redis Versuch, durch den er die Entstehung der Maden des Fleisches auf Fliegeneier zurückführte. Wurde nämlich das Fleisch mit einem feinen Netz bedeckt, das die Fliegen an der Ablage der Eier hinderte, so traten auch niemals Maden auf.

Aus dieser Darstellung der Verdienste Redis ersehen wir, daß sich die Mitglieder der Accademia del Cimento keineswegs ausschließlich mit rein physikalischen Problemen befaßten. Sie zeigten sich vielmehr bestrebt, in Galileis Sinne die Methode des großen Meisters auf alle Gebiete der Naturwissenschaft auszudehnen. Neben Redi ist in dieser Hinsicht vor allem Borelli (1608—1679)

---

[1]) Francesco Redi (1618—1676), Arzt in Florenz und Mitglied der Accademia del Cimento.

zu nennen. Letzterer hat durch seine Schrift[1]) über die Bewegung der Tiere der Physiologie wertvolle Dienste geleistet, indem er die Grundsätze der Mechanik auf dieses Gebiet anwenden lehrte. Borelli zeigte, daß beim Zusammenwirken von Muskeln und Knochen letztere als Wurfhebel dienen, d. h. als einarmige Hebel, bei welchen die in dem Muskel tätige Kraft an dem kleineren Hebelarm angreift. In der durch Abb. 53 erläuterten Stellung des Armes wird z. B. der Muskelzug, welcher der Last R das Gleichgewicht hält, sich zu dieser Last entsprechend dem Hebelgesetz verhalten wie die Strecke OK zu OJ. Der von dem zweiköpfigen Armmuskel, CF, dem Biceps, ausgeübte Zug wird also die in B wirkende Last bedeutend übertreffen. Borelli berechnet, daß sämtliche Muskeln des Armes, wenn er horizontal gehalten und an den Fingern mit 10 Pfund belastet wird, einen Zug von etwa 2000 Pfund ausüben.

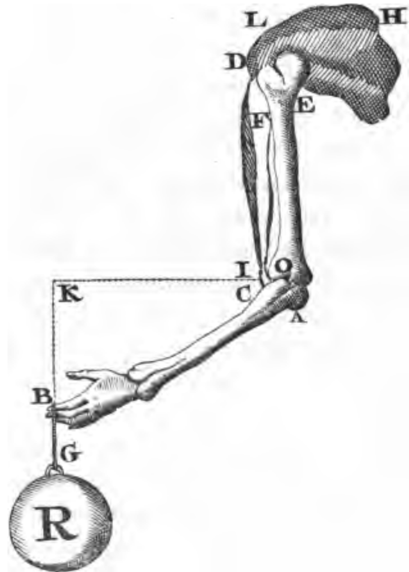


Abb. 53. Borelli erläutert die Wirkung des zweiköpfigen Armmuskels[2]).

Auch über die Lage des Schwerpunktes im Körper, über die Art, wie dieser Punkt bei den verschiedenen Bewegungen, beim Aufstehen, Gehen, Laufen u. s. w., unterstützt wird, sowie über die Mechanik dieser Bewegungen selbst hat Borelli durch seine Untersuchungen Licht verbreitet.

Der hervorragendste Forscher auf den Gebieten der Anatomie, der Physiologie und der Entwicklungsgeschichte, welchen das Italien des 17. Jahrhunderts hervorbrachte, war Marcello Malpighi[3]) (1628—1694), ein Schüler und Freund Borellis. Seine Verdienste um die Einführung des Mikroskops in das naturwissenschaftliche

1) Borelius, De motu animalium. Rom 1680, Leyden, 1685.
2) Borelius, De motu animalium. Leyden 1685. Tab. III. Fig. 2.
3) Professor der Medizin in Bologna, später Leibarzt von Papst Innocenz XII.

Studium, sowie um die Begründung der Pflanzenanatomie wurden schon gewürdigt. Malpighi machte von Swammerdams Erfindung der Injektion, d. h. der Erfüllung feiner Gefäße mit gefärbten Flüssigkeiten oder erstarrenden Massen (z. B. geschmolzenem Wachs) ausgedehnten Gebrauch. Gleich dem niederländischen Forscher, welcher die Hoffnung aussprach, daß man durch das Studium der Insekten zu den Gründen der Zeugung anderer Tiere gleichsam hinaufsteigen werde, läßt Malpighi sich von dem richtigen Gedanken leiten, durch die Erforschung der niederen Formen ein tieferes Verständnis des Baues der höheren Tiere anzubahnen, ein Gedanke, der ihn dann zur Beschäftigung mit den Pflanzen als den einfachsten Organismen führte. So lieferte Malpighi eine für jene Zeit mustergültige Arbeit über den Seidenschmetterling[1]), dessen Anatomie und Entwicklung er eingehend untersuchte. Diese Arbeit enthält die erste Beschreibung des Rückengefäßes und des Nervensystems der Insekten, sowie der Spinndrüsen und der nach ihrem Entdecker genannten Blindsäcke, welche Swammerdam später auch an der Biene nachwies[2]). Ferner werden darin die Verdauungsorgane, der Fortpflanzungsapparat, sowie das Atmungssystem beschrieben; die von seitlichen Öffnungen des Hinterleibes ausgehenden Luftröhren oder Tracheen werden bis in ihre Verzweigungen verfolgt. Auch sucht Malpighi die Veränderungen festzustellen, welche die einzelnen Organsysteme während der verschiedenen Entwicklungsstufen des Insekts durchlaufen.

Ein Gegenstück zur Entwicklungsgeschichte des Seidenschmetterlings lieferte Malpighis Untersuchung der Entstehung eines Wirbeltieres, nämlich des Hühnchens im Ei. Es wird damit ein Problem wieder aufgenommen, welches schon Aristoteles und den der vorigen Periode angehörenden Fabricius beschäftigt hatte. Auch zur Bewältigung dieser Aufgabe, welche erst in unserem Jahrhundert, seitdem von Baer die Embryologie zur wichtigsten Grundlage der zoologischen Forschung erhob, einer befriedigenden Lösung entgegengeführt wurde, hat Malpighi zum erstenmal die Hilfe des Mikroskops in Anspruch genommen. Insbesondere wurde die Entstehung der Wirbelsäule, sowie der Gehirnabteilungen am Hühnchen verfolgt.

Während die zuletzt genannten Mikroskopiker dieses Zeitraumes bei ihren Forschungen planmäßig zu Werke gingen, ent-

---

1) Malpighi, Opera omnia, London 1686.

2) Über diese sogenannten Malpighischen Gefäße siehe auch Bd. I, Seite 110.

sprangen die Untersuchungen des Niederländers van Leeuwenhoek (1632—1723) mehr der Liebhaberei als dem Bedürfnis nach Vertiefung in den Gegenstand. Leeuwenhoek eröffnete die Reihe jener Männer, welche insbesondere während des 18. Jahrhunderts eifrig mikroskopierten, um ihr Gemüt und ihre Augen zu ergötzen[1]). Doch ist ihm eine Fülle mikroskopischer Entdeckungen zu verdanken. Seine sich über eine Zeit von 50 Jahren erstreckenden Beobachtungen hat er der Royal Society in einer Reihe von Briefen mitgeteilt, welche später unter dem Titel „Geheimnisse der Natur“ zu einem Werke vereinigt wurden[2]).

Am bekanntesten ist Leeuwenhoek durch seine 1675 erfolgte Entdeckung der Aufgußtierchen geworden, von denen er eine Anzahl Formen beschrieb. Er entdeckte ferner die Blutkörperchen und das bekannte wunderbare Schauspiel der Zirkulation des Blutes in dem Körper der Froschlarven. „Als ich den Schwanz dieses Würmchens untersuchte“, so berichtet er, „nahm ich ein Schauspiel wahr, das an Entzücken alles übertraf, was ich bisher gesehen. Nicht nur sah ich das Blut durch die feinsten Gefäße von der Mitte des Schwanzes zu den äußeren Teilen strömen, sondern jedes Gefäß machte eine Biegung und beförderte das Blut wieder zur Mitte des Schwanzes zurück, damit es von neuem zum Herzen ströme[3]).“ Leeuwenhoek bemerkte auch die Knospung des Süßwasserpolypen[4]), sowie die parthenogenetische Fortpflanzung der Blattläuse, welche er mit folgenden Worten schildert: „Die von mir entdeckte Art der Fortpflanzung dieser Geschöpfe erschien mir merkwürdiger als irgend eine der bisher bekannt gewordenen. Vergebens suchte ich nach Eiern oder Männchen. Endlich beschloß ich, die größeren von ihnen aufzuschneiden, damit ich Eier aus ihrem Körper erhielt. An Stelle der Eier zog ich jedoch voll Verwunderung kleine Tierchen hervor, die in ihrem Aussehen den Muttertieren so ähnlich waren wie ein Ei dem anderen. Nicht nur eins, sondern wohl vier zog ich vollkommen ausgebildet aus demselben Körper hervor[5]).“ Endlich sei hervorgehoben, daß Leeuwenhoek die Querstreifung an den willkürlichen Muskeln

---

1) Ledermüller, Mikroskopische Gemüts- und Augenergötzungen. 1763.

2) Leeuwenhoek, Arcana naturae. Delphis Batavorum 1695.

3) Arcana naturae. 1695. Bd. I. Seite 173.

4) Siehe Bd. I dieses Grundrisses, Seite 133.

5) Arcana naturae, 1695, Bd. I. Brief 90. Die nähere Aufklärung über dies Verhalten der Blattläuse gab Bonnet im 1. Bande seiner Insektologie. Paris 1745.

entdeckte. Die untenstehende Abbildung 54 zeigt seine Darstellung einiger Muskelfasern des Herzens, welche noch dazu die Eigentümlichkeit besitzen, sich netzartig zu verbinden, während die gewöhnlichen Fasern parallel laufen[1]).

Diese Musterung der Erfolge eines Steno, Grew, Malphigi, Swammerdam und Leeuwenhoek lehrt, daß in der zweiten Hälfte des 17. Jahrhunderts der gewaltige Anstoß, welcher mit der Begründung der Dynamik anhob und darauf die gesamte Physik

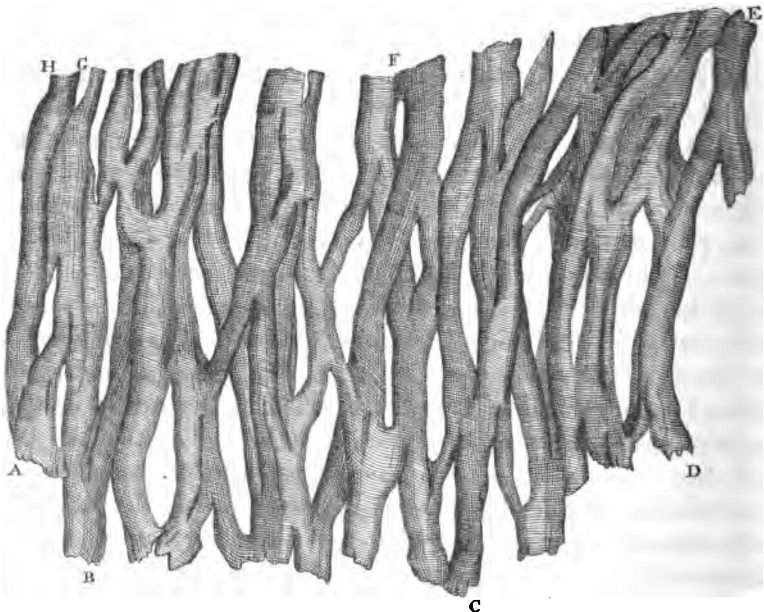


Abb. 54. Leeuwenhoeks Darstellung der Muskelfasern des Herzens.

und Astronomie ergriff, auch auf die übrigen Gebiete der Naturwissenschaften seine Wirkung übte, so daß überall neue Grundlagen geschaffen wurden. Auf diesen hat das nachfolgende 18. Jahrhundert während des größten Teiles seines Verlaufes in ruhiger Entwicklung weiter gebaut. Erst gegen das Ende des 18. Jahrhunderts trat von neuem ein gewaltiger Fortschritt auf allen Gebieten ein. Dieser kennzeichnet den Beginn der neuesten und letzten Periode in der Entwicklung der Wissenschaften, welche uns

1) Abbildung aus Leeuwenhoeks Arcana naturae 1695. Bd. I, Seite 447.

nicht nur unmittelbar in die Geschehnisse des Tages hinüberleitet, sondern auch zahlreiche Keime künftiger Verallgemeinerungen, Entdeckungen und Erfindungen in sich birgt.

4. Das 18. Jahrhundert bewirkt den weiteren Ausbau der in den Zeitaltern Galileis und Newtons erschlossenen Forschungsgebiete.

Die von Galilei, Newton und gleichstrebenden Geistern ausgeübte Methode, welche durch die Verknüpfung des Versuchs mit dem mathematischen Beweisverfahren zur Auffindung der Naturgesetze führt, blieb während des 18. Jahrhunderts, wie zur Zeit ihrer Schöpfer, im wesentlichen auf die Astronomie und die Mechanik beschränkt. Auch galt es, während dieses Zeitraumes die von Newton und Leibniz ins Leben gerufene höhere Analysis zur Bewältigung derjenigen großen Aufgaben geeignet zu machen, welche zunächst auf den Gebieten der Astronomie, der Optik und Akustik ihrer Lösung harrten. Daß die höhere Mathematik im Verlauf des 18. Jahrhunderts zu dem „Riesenschwerte“ des Astronomen und Physikers und später des modernen Naturforschers überhaupt wurde, ist vor allem den Bernoulli und Leonhard Euler zu verdanken. Während die beiden älteren Bernoulli in erster Linie auf den geschaffenen Grundlagen das Gebäude der Differential- und Integralrechnung errichteten, sehen wir Daniel Bernoulli vorzugsweise damit beschäftigt, schwierige mechanische Probleme, bei denen die von Huygens und selbst noch von Newton in seinen „Prinzipien“ befolgte geometrische Methode keine Aussicht auf Erfolg bot, vermöge des neuen Hilfsmittels zu bewältigen [1]). Daniel Bernoulli ist daher als Hauptbegründer des Wissenszweiges zu nennen, welchen wir als mathematische Physik bezeichnen. Er führte ferner in die Mechanik das Prinzip von der Erhaltung der Kraft ein, das schon Huygens bei seinen Untersuchungen über das zusammengesetzte Pendel vorschwebte, und brachte dies Prinzip bei seinen Arbeiten über die Bewegung flüssiger Körper überall zur folgerichtigen Durchführung (Hydrodynamik 1738 [2]). Huygens hatte es dahin ausgesprochen, daß ein frei fallender Körper, wenn man seine Bewegungsrichtung ändert, nur bis

1) Jacob Bernoulli (1654—1705), Johann Bernoulli (1667—1748), Bruder des vorigen. Daniel Bernoulli (1700—1782), Sohn von Johann B.

2) Hydrodynamica seu de viribus et motibus fluidorum commentarii 1738.

zur ursprünglichen Höhe wieder emporsteigen kann, da die Wirkung der Ursache gleichwertig sei. Aus diesem Grunde hatte Huygens auch die Möglichkeit eines Perpetuum mobile bestritten. Obgleich Daniel Bernoulli die große Bedeutung des Prinzips von der Erhaltung der Kraft wohl ahnte, blieb es doch dem 19. Jahrhundert vorbehalten, es in seiner Allgemeingültigkeit anzuerkennen und darauf die gesamte Naturlehre zu begründen.

Fast noch übertroffen wurden die Leistungen Daniel Bernoullis durch diejenigen Eulers. Leonhard Euler wurde am 15. April des Jahres 1707 in Basel geboren und war ein Schüler des daselbst ein Lehramt bekleidenden Johann Bernoulli. Auf die Empfehlung Daniel Bernoullis hin wurde Euler mit 20 Jahren an die Akademie zu Petersburg berufen. Bezeichnend für seine ungewöhnliche mathematische Befähigung ist folgendes Ereignis. Als es galt, gewisse astronomische Tafeln zu berechnen, erklärten die Mathematiker der Akademie, hierzu einer Frist von einigen Monaten zu bedürfen. Euler dagegen erbot sich, jene Tafeln in drei Tagen fertig zu stellen, und hielt auch Wort. Doch hatte er diese Leistung mit dem Verluste eines Auges zu bezahlen, welches er infolge einer durch die Überanstrengung herbeigeführten Krankheit einbüßte. Im Jahre 1741 berief Friedrich der Große durch ein aus dem Feldlager stammendes Schreiben Euler an die Berliner Akademie der Wissenschaften. 25 Jahre später kehrte dieser jedoch, einer Aufforderung Katharinas der Zweiten folgend, nach Petersburg zurück. Trotzdem Euler bald darauf völlig erblindete, erlahmte seine wissenschaftliche Tätigkeit nicht. Noch wenige Stunden vor seinem am 7. September 1783 erfolgten Tode war er damit beschäftigt, die Bewegung des in demselben Jahre erfundenen Luftballons zu berechnen.

Eine der frühesten Arbeiten Eulers auf dem Gebiete der angewandten Mathematik betrifft die von Newton gegebene Theorie der Gezeiten. Die französische Akademie der Wissenschaften hatte bei der Wichtigkeit des Gegenstandes im Beginn des 18. Jahrhunderts zahlreiche Flutbeobachtungen in den französischen Häfen anstellen lassen. Dabei hatte sich gezeigt, daß man diese Beobachtungen nur zum Teil aus Newtons Theorie erklären konnte. Die Akademie schrieb deshalb im Jahre 1740 Preise über diesen Gegenstand aus. Unter den gekrönten Arbeiten befanden sich auch diejenigen Eulers und Bernoullis. Es gelang, auf der von Newton geschaffenen Grundlage mit Hilfe der höheren Analysis manche Umstände, welche bei den Gezeiten mitwirken, in Rechnung

zu ziehen, so daß z. B. das Zurückbleiben der Flutwelle hinter der Kulmination des Mondes bestimmt werden konnte.

Auch die Lösung einer zweiten für die Nautik wichtigen Aufgabe, an der sich Galilei in seinen letzten Lebensjahren vergebens abgemüht hatte, des Problems der Längenbestimmung, blieb Euler vorbehalten. Galilei und das Altertum hatten ihren Berechnungen gewisse astronomische Erscheinungen, wie die Verfinsterungen der Jupitermonde oder die viel seltener vorkommenden Mondfinsternisse, zu grunde gelegt. Schon vor Galilei erfolgten neue Vorschläge, deren Durchführung die endliche Lösung des so lange schwebenden Problems herbeiführen sollten. Da der Mond infolge seiner Bewegung um die Erde seinen Ort rasch ändert, kann der Abstand dieses Gestirnes von bestimmten Fixsternen, welcher von Stunde zu Stunde ein anderer ist, zum Vergleich der Ortszeiten und damit zur Längenbestimmung dienen. Es würde dazu nur eine Tabelle erforderlich sein, welche für einen bestimmten Ort der Erde die Abstände des Mondes für die einzelnen Tage und Stunden angibt. Wird dann die betreffende Distanz an dem Orte der Beobachtung zu einer anderen Tageszeit gemessen, so läßt sich aus dem Unterschiede dieser Zeiten der Längenunterschied berechnen[1]). Ein zweites in Vorschlag[2]) gebrachtes Verfahren beruht auf der Verwendung genauer Chronometer, welche während der ganzen Dauer der Reise die Zeit desjenigen Ortes angeben, den man zum Ausgangspunkte für die Längenbestimmung gewählt hat. Die Verwirklichung dieser beiden Vorschläge wurde lebhaft angestrebt, nachdem im Jahre 1713 das englische Parlament einen Preis von 20000 Pfund für die praktische Lösung des Problems ausgesetzt hatte.

Da die Bewegung des Mondes von den anziehenden Kräften der Erde und der Sonne abhängt, war sie weit schwieriger zu ermitteln als diejenige der Planeten. Noch zur Zeit Newtons betrug der Fehler bei der Vorausbestimmung einer Mondfinsternis mitunter eine Stunde und mehr. Auf Grund der Berechnungen Eulers[3]) und eigener Beobachtungen brachte dann der Astronom Tobias Mayer[4]) in Göttingen Mondtafeln zu Wege, welche den für den gedachten Zweck zu stellenden Anforderungen genügten.

1) Diese Methode wurde schon von Apian (1495—1552) in dessen Kosmographie (§ 5) empfohlen.

2) Herrührend von Gemma Frisius (1508—1555).

3) Novae et correctae tabulae ad loca Lunae computanda. Berlin 1746.

4) Novae tabulae motuum Solis et Lunae. 1752.

Die Witwe Mayers, sowie auch Euler erhielten daher einen Teil des Preises.

Ein hinlänglich genau gehendes Chronometer lieferte im Jahre 1758 der Uhrmacher John Harrison. Dieses wies nach einer vier Monate dauernden Fahrt einen Fehler von nur etwa zwei Minuten auf. Durch fortgesetzte Bemühungen wurde dieser Fehler noch weiter herabgemindert, worauf Harrison die Hälfte der vom Parlamente ausgesetzten Summe erhielt. Um die Länge des Pendels dem Einfluß der Temperaturschwankungen zu entziehen, verfertigte Harrison nach dem Vorgange Grahams Rost- oder Kompensationspendel, indem er Metalle von verschiedenem Ausdehnungskoeffizienten, wie Messing und Eisen, vereinigte. Graham (1675—1751) hatte zu diesem Zwecke die sogenannte Quecksilberkompensation erfunden (1722).

Verwickelte, nur mit Hilfe der höheren Analysis zu lösende Probleme boten die Schallerscheinungen dar. Euler untersuchte die Schwingungen von Saiten und Stäben und bestimmte die Grenzen der Hörbarkeit, welche seinen Versuchen gemäß annähernd mit den Schwingungszahlen 20 und 7000 zusammenfallen. Überhaupt erwarb sich Euler große Verdienste um eine wissenschaftliche Behandlung der Musik. Nachdem die Zurückführung der akustischen Vorgänge auf die Schwingungen elastischer Körper und Medien gelungen war, mußte sich dem schon von Huygens unternommenen Versuch, die Lichtphänomene auf dieselben Prinzipien zurückzuführen, eine größere Aussicht auf Erfolg darbieten. So sehen wir Euler denn auch eifrig bemüht, die Analogie der Schall- und Lichterscheinungen darzutun. Trotz aller Klarheit, mit welcher er seine Anschauungen über die Natur des Lichtes in den Briefen an eine deutsche Prinzessin[1]) vorträgt, sowie seiner in den Denkschriften der Berliner Akademie gegebenen wissenschaftlichen Begründung dieser Anschauungen blieb die von Newton herrührende Emanationstheorie unerschüttert. Was dem bloßen, gleichfalls von einem theoretischen Standpunkte aus erfolgenden Bekämpfen einer irrigen Hypothese nicht gelang, hat die spätere Entdeckung neuer Tatsachen sofort ermöglicht. Solchen gegenüber konnte eine Hypothese, die sich nicht mit ihnen in Einklang bringen ließ, keinen Stand halten.

Auch um die Berichtigung eines anderen Irrtums Newtons machte Euler sich verdient. Ersterer hatte die Beseitigung der

[1]) Siehe Bd. I, Abschnitt 31.

chromatischen Abweichung für unmöglich erklärt, da die Brechung des Lichtes stets mit einer Farbenzerstreuung verbunden sei. Infolgedessen hielt man die Vervollkommnung der dioptrischen Fernröhre für ausgeschlossen und wandte sich gleich Newton vorzugsweise der Verfertigung von Spiegelteleskopen zu, welche gegen das Ende des 18. Jahrhunderts durch Wilhelm Herschel einen hohen Grad der Vollendung erreichten. Der Ansicht Newtons gegenüber wies nun Euler im Jahre 1747 darauf hin, daß im Baue unseres Auges das von Newton für unlösbar gehaltene Problem tatsächlich gelöst sei, da die auf der Netzhaut erzeugten Bilder den Fehler der chromatischen Abweichung doch nicht besitzen. Weil nun beim Auge in verschiedenem Grade brechende Medien, wie die Substanz der Hornhaut, die Linse und der Glaskörper, bei der Bilderzeugung zusammenwirken, so kam Euler auf den Gedanken, mit dem Glase einen zweiten Stoff in entsprechender Weise zu verbinden, um die Farbenzerstreuung zu beseitigen. Euler suchte dieses zu erreichen, indem er seine Objektivgläser, wie es die nebenstehende Abbildung 55 erläutert, aus Glas und Wasser zusammensetzte. Dies Verfahren bot zwar in der Ausführung Schwierigkeiten, zeigte aber immerhin die Richtigkeit der Eulerschen Folgerungen, da die Bilder, wenn sie auch nicht die gewünschte Schärfe besaßen, doch frei von dem gedachten Fehler waren.



Abb. 55. Eulers aus Glas und Wasser zusammengesetztes Objektivglas [1]).

Angeregt durch diese Untersuchung Eulers, kam zehn Jahre später der Optiker Dollond[2]) auf den Gedanken, anstatt Glas und Wasser zwei Glassorten von ungleichem Brechungsvermögen zu wählen. Zunächst verfertigte er Kron- und Flintglasprismen von verschiedenen Brechungswinkeln. Beim Prüfen dieser Prismen ergaben sich Zusammenstellungen, bei denen der hindurchgegangene Strahl keine Farbenzerstreuung mehr aufwies und doch noch, wenn auch in geringerem Grade, gebrochen wurde. Nachdem sich auf solche Weise der Gedanke als durchführbar erwiesen, ging Dollond zu seiner praktischen Verwertung über. Er setzte Objektivgläser jetzt aus zwei Stücken zusammen, von denen

---

[1]) Eulers Briefe an eine deutsche Prinzessin. Leipzig 1773. Bd. III. Abb. auf Seite 299.

[2]) Geboren 1706 in der Nähe von London.

das eine aus Kron-, das andere aus Flintglas bestand. Auch hierbei wurde die zweckmäßigste Vereinigung durch Ausprobieren bewerkstelligt. Damit war das achromatische Fernrohr erfunden, welches durch Dollonds Sohn und insbesondere im Beginn des 19. Jahrhunderts durch Josef Fraunhofer einen solchen Grad der Vollendung erhielt, daß der während des 18. Jahrhunderts herrschende Reflektor nun das Feld räumen mußte.

Neben diesem Wettkampf beschäftigten die Astronomen des 18. Jahrhunderts noch zwei andere wichtige Fragen, welche die vorhergehende Periode aufgeworfen hatte. Sie betrafen die Abweichung der Erde von der Kugelgestalt und die Bestimmung der Sonnenparallaxe aus den 1761 und 1769 wieder zu erwartenden Vorübergängen der Venus. Um die von Newton und Huygens herrührende Annahme, daß die Erde ein an den Polen abgeplattetes Rotationsellipsoid sei[1]), auf ihre Richtigkeit zu prüfen, waren genaue Gradmessungen in der Nähe eines Pols und des Äquators erforderlich. War der Theorie Newtons gemäß die Krümmung in der Nähe der Pole eine geringere, so mußte sich hier für den Breitengrad eine größere Strecke ergeben als für eben dieses Maß in der Nähe des Äquators. Zur Entscheidung dieser Frage sandte die französische Regierung in den Jahren 1735 und 1736 Expeditionen nach Peru und nach Lappland. Die erstere, welche von den Akademikern Bouguer[2]) und Condamine[3]) geleitet wurde, maß den Abstand zwischen zwei nördlich und südlich vom Äquator gelegenen Orten und fand für den Grad 56734 Toisen. Die von Maupertuis[4]) befehligte zweite Expedition stellte ihre Messungen in der Nähe des Torneå unter dem 66. Grade nördlicher Breite an. Das von dieser Expedition gefundene Ergebnis belief sich auf 57438 Toisen, war also um 704 Toisen größer als das am Äquator

---

1) Siehe Seite 218 ds. Bds.

2) Pierre Bouguer wurde im Jahre 1698 in der Bretagne geboren und starb 1758.

3) Charles Marie de La Condamine wurde 1701 zu Paris geboren und starb im Jahre 1774.

4) Pierre de Maupertuis wurde 1698 zu St. Malo geboren und trat im Jahre 1731 in die Akademie ein. Zehn Jahre später berief ihn Friedrich der Große nach Berlin und ernannte ihn zum Präsidenten der dortigen Akademie. Während er diese Stellung bekleidete, hat Maupertuis wissenschaftlich wenig geleistet; umso größeres Aufsehen erregte sein Streit mit Voltaire, welcher die Entfremdung zwischen dem letzteren und dem Könige zur Folge hatte. 1753 kehrte Maupertuis nach Paris zurück. Er starb im Jahre 1759.

erhaltene, während sich für die Breite von 45° ein zwischen diesen beiden Größen liegender Wert von 57012 Toisen ergab. Die von Newton und Huygens aufgestellte Ansicht über die Gestalt der Erde hatte somit ihre Bestätigung erfahren. Nach Condamine ergaben diese Messungen, daß sich die Erdachse zum Durchmesser des Äquators wie 299:300 verhält, während Newton auf rechnerischem Wege das Verhältnis 288:289 gefunden hatte.

Das Problem, die Entfernung und die Größe der Sonne und damit zugleich die Abmessungen des Planetensystems nach ihrem absoluten Werte zu bestimmen, eine Aufgabe, welche der Astronomie seit der Zeit des Aristarch vorgeschwebt, wurde gleichfalls in dieser Periode gelöst. Edmund Halley (1656—1742), ein jüngerer Zeitgenosse Newtons, der sich um die Fortbildung der Astronomie und der physikalischen Geographie große Verdienste erworben hat, war gelegentlich eines von ihm beobachteten Vorüberganges des Merkur vor der Sonne auf den Gedanken gekommen, ein derartiges Phänomen zur Bestimmung der Sonnenparallaxe zu verwerten, d. h. desjenigen Winkels, unter dem der Erdhalbmesser von der Sonne aus erscheint. Bei einem Merkur- oder Venusdurchgang werden nämlich die genannten Planeten Sehnen auf der Sonnenscheibe beschreiben, deren Lage und Größe je nach dem Orte, den der Beobachter auf der Erde einnimmt, verschieden ist. Infolgedessen wird auch die Zeit eines und desselben Vorüberganges für die einzelnen Beobachtungsstationen von verschiedener Dauer sein. Wie aus Abbildung 56 ersichtlich, steht die Entfernung cd der Sehnen ef und gh zu den Abständen der drei Weltkörper und dem durch Messungen auf der Erde seiner absoluten Größe nach bekannten Stück ab in einer gewissen Beziehung, so daß sich aus den Ergebnissen der Beobachtung eines Venusdurchganges die Größe und die Entfernung der Sonne berechnen läßt[2].

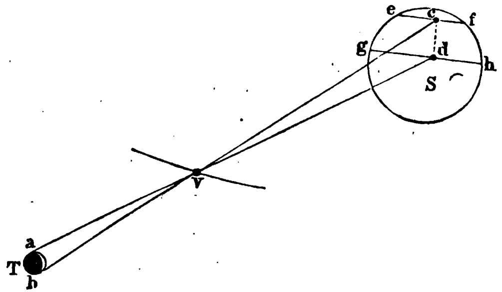


Abb. 56. Der Vorübergang der Venus[1]).

[1]) Joh. Müllers Lehrbuch der kosmischen Physik. 5. Aufl. Braunschweig 1894. Figur 97.

[2]) Da sich die Abstände der Erde und der Venus von der Sonne wie

Halley selbst war es nicht mehr vergönnt, seinen Vorschlag ins Werk zu setzen, da Vorübergänge der Venus seltene Ereignisse sind und sich seit seinem Tode erst viermal wiederholt haben, nämlich in den Jahren 1761, 1769, 1874 und 1882. Sowohl für das Jahr 1761 als auch für 1769 wurden nun Expeditionen von den Kulturvölkern ausgesandt. Aus dem an der Hudsonsbay, in Kalifornien, in Lappland, in Finnland und auf Tahiti gewonnenen Beobachtungsmaterial berechnete dann der französische Astronom Delalande eine Parallaxe von 8,5—8,6 Sekunden. Da der mittlere scheinbare Durchmesser der Sonne sich auf 31′ 37″ = 1897 Sekunden beläuft, so ergibt sich aus dieser Bestimmung Delalandes, daß der Sonnendurchmesser denjenigen der Erde nahezu um das 113-fache übertrifft, oder daß das Volumen der Sonne 1400000 mal so groß wie dasjenige der Erde ist. Für die halbe große Bahnachse ergab sich ein Wert von 20682000 geographischen Meilen. Sind die Größenverhältnisse des Systems bekannt, so läßt sich durch eine ähnliche Schlußfolgerung wie diejenige, welche Newton auf die Entdeckung des Gravitationsgesetzes führte[1]), die Kraft ermitteln, mit welcher ein Körper in der Nähe der Sonnenoberfläche angezogen wird. Delalande fand, daß diese Kraft 29 mal die Anziehung der Erde übertrifft, so daß ein freifallender Körper auf der Sonne in der ersten Sekunde 29 × 15,09 = 434 Pariser Fuß zurücklegt. Die neueren Bestimmungen haben für die Sonnenparallaxe 8,88″ ergeben, wodurch sich der Abstand der Erde von der Sonne auf 20000000 geographische Meilen (148,6 Millionen Kilometer) vermindert, und auch die übrigen Werte entsprechende Änderungen erfahren.

Von ganz außerordentlicher Tragweite war Halleys Beobachtung, daß die Fixsterne ihre gegenseitige Stellung ändern. Er machte sie am Arktur und Sirius, für welche nach seinen Angaben diese als Eigenbewegung bezeichnete Änderung sich seit den Zeiten des Ptolemäos auf die beträchtliche Größe von etwa einem halben Grad belief.

Newton hatte auf theoretischem Wege nicht nur die Abplattung, sondern auch die Dichte unseres Weltkörpers ermittelt. Die Bestimmung der ersteren und der sich daran anknüpfende Streit hatten die Aussendung der Expeditionen nach Lappland und Quito

---

1 : 0,723 verhalten, so ergibt sich die Proportion cd : ab = 0,723 : (1—0,723), woraus folgt, daß das zunächst gesuchte Stück cd = 2,6 ab ist.

1) Siehe Seite 202 ds. Bds.

zur Folge. In Quito nun machte Bouguer[1]) eine Entdeckung, welche später die Handhabe bot, um auch die Newtonsche Berechnung der Dichte zu verifizieren. Bouguer fand nämlich, daß infolge der Anziehung des Chimborazo das Bleilot um 7—8″ von der senkrechten Lage abwich. Diese Beobachtung veranlaßte den Engländer Maskelyne (1732—1811), derartige Untersuchungen an einem nach Volumen und Dichte bekannten Berge anzustellen, um aus der Größe jener Abweichung und der Masse, welche sie hervorruft, die unbekannte Masse der Erde auf Grund des Newtonschen Gravitationsgesetzes zu berechnen[2]).

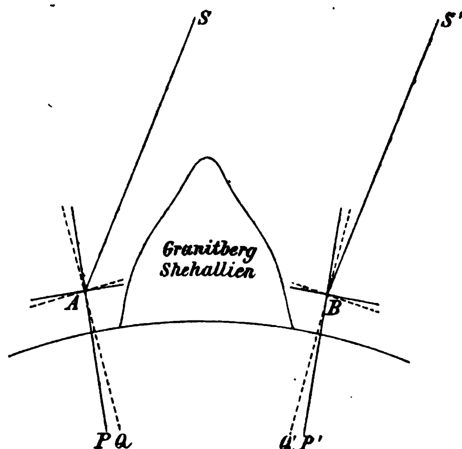


Abb. 57. Maskelyne und Hutton bestimmen die Dichte der Erde durch Versuche am Shehallien.

Der Abstand der durch A und B gezogenen Breitenkreise betrug 4364,4 Fuß. Dementsprechend hätten die Lote AP und BP′, wenn der Shehallien nicht vorhanden gewesen wäre, einen Winkel von 42,94 Sekunden bilden müssen, und dieser Winkel wäre gleich der Differenz der Polhöhen gewesen. Die astronomischen Beobachtungen ergaben jedoch eine Polhöhendifferenz von 54,6″. Der Unterschied von 11,6 Sekunden ist durch eine Verminderung der Polhöhe bei A um den Winkel PAQ und eine Vermehrung bei B um P′BQ′ hervorgerufen. $PAQ + P'BQ' =$ doppelte Ablenkung $= 11,6$ Sekunden.

Maskelyne wählte für seine im Jahre 1774 angestellten Messungen einen steilen, regelmäßig geformten Granitberg Schottlands, den Shehallien. Die Dichte dieses Berges wurde auf Grund mehrerer an verschiedenen Stellen entnommenen Proben zu 2,5

---

1) Siehe Seite 246 ds. Bds.

2) Maskelyne, An account of observations made on the mountain Shehallien for finding its attraction. Philosophical Transactions for the year 1795 (Vol. LXV). pg. 500. Nevil Maskelyne wurde 1732 zu London geboren und starb 1811 zu Greenwich als Astronom der dortigen Sternwarte. Im Jahre 1761 beobachtete er den Durchgang der Venus von St. Helena aus. Ferner war er Begutachter der Ansprüche Harrisons und Mayers an den großen Preis, welchen die englische Regierung für die Lösung des Längenproblems ausgesetzt hatte.

gefunden und aus diesem Wert und dem Rauminhalt des Berges die gesamte auf das Pendel wirkende Masse berechnet. Die Ablenkung selbst wurde dann in der Weise bestimmt, daß die Polhöhe nördlich und südlich von dem Berge gemessen wurde (siehe Abb. 57). Eine auf Grund der so gewonnenen Daten angestellte Rechnung ergab für die Erde als mittlere Dichte 4,71. Letztere ist danach also etwa doppelt so groß wie diejenige des Granits, eines Gesteins, mit dem die Mehrzahl der Substanzen, welche die starre Erdkruste zusammensetzen, hinsichtlich ihrer Dichte nahezu übereinstimmt.

Durch die Lösung derartiger Aufgaben trat die Astronomie in eine immer engere Beziehung zur Physik der Erde. Aber auch die reine Physik sollte durch die Bewältigung eines astronomischen

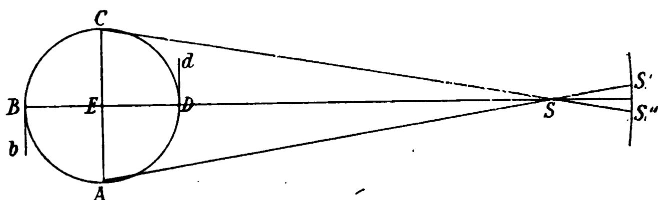


Abb. 58. Die Entdeckung der Aberration durch Bradley.

Problems eine wichtige Förderung erhalten. Im 17. Jahrhundert hatte Römer auf astronomischem Wege eine physikalische Konstante, die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes nämlich, gefunden. Jetzt bot sich eine andere Gelegenheit, dieselbe Größe zu ermitteln und infolge der Übereinstimmung der auf verschiedenen Wegen erhaltenen Ergebnisse zu einem höheren Grade der Gewißheit zu gelangen.

Seit dem Bekanntwerden des kopernikanischen Systems war seinen Anhängern die Aufgabe gestellt, die Umdrehung der Erde um die Sonne durch den Nachweis einer entsprechenden scheinbaren jährlichen Bewegung der Fixsterne darzutun. In vorstehender Abb. 58 bedeute ABCD die Erdbahn, S sei ein Stern, welcher sich in der Ebene der Ekliptik befinde. Steht nun der Durchmesser CA zu dem Abstand ES in einem nicht zu kleinen Verhältnis, so wird der Fixstern im Verlaufe eines Jahres am Himmel die scheinbare Bewegung S′ S″ S′ machen. Beobachtungen an einem außerhalb der Ekliptik gelegenen Fixstern würden für diesen als scheinbare Bahn eine Kurve ergeben, deren Gestalt der von dem

Sterne aus beobachteten Bahn der Erde genau entsprechen würde[1]). Der Winkel CSE, unter dem von dem Sterne aus der Halbmesser der Erdbahn erscheint, wird die jährliche Parallaxe des Sternes genannt. Tycho, welcher hinsichtlich der Genauigkeit seiner Messungen alle Vorgänger übertraf, mühte sich vergeblich ab, eine solche Parallaxe am Polarstern nachzuweisen, und erklärte insbesondere aus diesem Grunde dem kopernikanischen System seine Gegnerschaft. Letzteres war trotzdem zur unbestrittenen Herrschaft gelangt, ohne daß der geforderte unmittelbare Nachweis der Umlaufbewegung hisher erbracht worden wäre. Da die Schärfe der astronomischen Beobachtung seit den Zeiten Tychos sich vervielfältigt hatte[2]), so wurde das alte Problem von Hooke und Cassini wieder aufgenommen. Ersterer wählte für seine Messungen den in der Nähe des Nordpols der Ekliptik befindlichen Stern γ Draconis und wies nach, daß dieser Himmelskörper tatsächlich seine Stellung innerhalb eines Vierteljahres um 25 Sekunden änderte. James Bradley (1692—1762), welcher nach dem Tode Halleys[3]) zum Direktor der Sternwarte zu Greenwich ernannt worden war, stellte während der Jahre 1725—1728 zu dem gleichen Zwecke zahlreiche Beobachtungen an. Neben γ Draconis zog er indes auch andere Fixsterne in Betracht, die in der Ekliptik selbst oder zwischen dem Pole und der Ebene der Ekliptik liegen. Diese Beobachtungen ließen scheinbare Bewegungen erkennen, welche zwar den Beweis für eine Bewegung der Erde um die Sonne lieferten, indes doch nicht als parallaktische betrachtet werden konnten. Während nämlich γ Draconis im Laufe eines Jahres eine nahezu kreisförmige Bahn von 40″ Durchmesser beschrieb, durchliefen die in der Ekliptik gelegenen Sterne in demselben Zeitraum zweimal eine Linie, welche unter demselben Winkel von 40″ gesehen wurde. Zwischen der Ebene und den Polen der Ekliptik befindliche Sterne endlich legten unterdessen Ellipsen zurück, deren große Achsen wieder 40″ maßen und der Ebene der Ekliptik parallel waren, während der Wert der kleinen Achsen zwischen 0″ und 40″ schwankte, je nachdem der betreffende Stern der Ekliptik oder ihrem Pole näher gelegen war[4]). Um diese

1) Siehe Bd. I, Seite 348.

2) Die Instrumente gaben damals schon einzelne Sekunden an, während die Genauigkeit sich zur Zeit Tychos nur auf Minuten belief.

3) Halley starb im Jahre 1742.

4) Bradley, Account of a new discovered motion of the fixed stars (Phil. Transact. 1728).

scheinbaren Bewegungen auf eine Parallaxe zurückzuführen, hätte man, da in allen Fällen derselbe Wert von 40″ wiederkehrt, zunächst annehmen müssen, daß sämtliche Fixsterne gleich weit von der Erde entfernt seien. Dieser an sich schon unwahrscheinlichen Annahme widersprach aber die Tatsache, daß in B und D (siehe Abb. 58) der Stern nicht an demselben Orte gesehen wurde, wie es bei der parallaktischen Bewegung doch der Fall sein müßte. Bradley fand nämlich, daß, wenn die Erde sich in D befindet und sich in der Richtung Dd bewegt, der Stern nach S′ verschoben erscheint. Befindet sich die Erde dagegen in B, wo ihre Bewegungsrichtung die entgegengesetzte ist, so findet die Verschiebung nach S″ statt. In beiden Fällen erreicht der Wert dieser Verschiebung 20″, während in C und A, wo die Bewegungsrichtung der Erde mit derjenigen des von dem Fixstern kommenden Lichtes übereinstimmt, der Stern, falls er in der Ebene der Ekliptik liegt, an seinem wahren Orte gesehen wird.

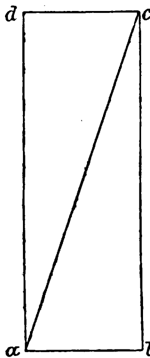


Abb. 59. Parallelogramm der Geschwindigkeiten des Lichtes und der Erde.

Zur Erklärung dieser auffallenden Erscheinung soll Bradley durch eine alltägliche Beobachtung gelangt sein. Er bemerkte nämlich bei einer Bootfahrt, daß die Fahne die Windrichtung wirklich angibt, wenn der Lauf des Schiffes mit der Richtung des Windes übereinstimmt. Änderte man dagegen den Kurs, so nahm die Fahne eine Stellung an, welche sich von den Richtungen und den Geschwindigkeiten des Windes und des Bootes abhängig erwies. Pflanzt sich, so folgerte Bradley, das Licht mit endlicher Geschwindigkeit fort, so muß sich letztere mit derjenigen der Erde zusammensetzen. Nebenstehende Abbildung 59 stellt uns das Parallelogramm dieser Geschwindigkeiten dar. Zu der Zeit, in welcher sich die Erde in den Stellungen B und D (Abb. 58) befindet, beträgt ihre durch das Stück ab (Abb. 59) wiedergegebene Geschwindigkeit, wie überall auf ihrer Bahn, etwa 4 Meilen. Die Aberration erreicht dann ihren größten Wert von 20″, welcher dem Winkel acb beizulegen ist. In diesem Falle verhält sich bc zu ab wie die Geschwindigkeit des Lichtes zu derjenigen der Erde. Ist der eine dieser Werte bekannt, so ist der andere durch eine einfache Beziehung gegeben[1]). Bradley erhielt

[1]) $\frac{bc}{ab} = \text{cotg } 20''$; $bc = ab \,.\, \text{cotg } 20''$.

so für die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes, fast in Übereinstimmung mit dem von Römer gefundenen Ergebnis, den Wert von 40000 Meilen. Beide auf astronomischem Wege erhaltenen Bestimmungen fanden um die Mitte des 19. Jahrhunderts eine Bestätigung durch terrestrische, nach rein physikalischer Methode angestellte Messungen.

Während die Physik im 17. Jahrhundert ihre Fortschritte vorzugsweise auf den Gebieten der Mechanik und der Optik, den ältesten Zweigen der Naturlehre, zu verzeichnen hatte, war das 18. Jahrhundert insbesondere dem Ausbau des von Gilbert und Guericke erschlossenen Gebietes der Reibungselektrizität gewidmet. Gilbert hatte zum erstenmal den Unterschied zwischen magnetischer und elektrischer Anziehung scharf hervorgehoben[1]), während Guericke die elektrische Abstoßung entdeckt und die erste maschinelle Vorrichtung zur Erzeugung von Elektrizität ins Leben gerufen hatte. Leider wurde Guerickes Apparat zunächst nicht benutzt. Man begnügte sich damit, Elektrizität zu erzeugen, indem man Glas, Bernstein, Kopal und andere geeignete Stoffe aus freier Hand rieb. Trotzdem gelang es, elektrische Entladungen von solcher Wirkung hervorzurufen, daß nicht nur ein Knistern, sondern auch das Auftreten von Funken bemerkt wurde. Ein Beobachter erwähnt sogar, „dieses Licht und Knistern scheine einigermaßen Blitz und Donner vorzustellen“[2]).

Der Fortschritt auf dem der unmittelbaren Beobachtung wenig zugänglichen Gebiet der Reibungselektrizität mußte aber ein sehr langsamer bleiben, so lange es sich um vom Zufall abhängige, durch keine Theorie verknüpfte Versuche handelte. Dieser allerersten Stufe jeder exakten Wissenschaft sollte keiner der Hauptzweige der Physik so spät entwachsen wie gerade die Elektrizitätslehre. Erst im Verlaufe des 18. Jahrhunderts tritt letztere in das zweite Stadium ein, welches dadurch gekennzeichnet ist, daß man zu einem planmäßigen, von hypothetischen Vorstellungen geleiteten Experimentieren übergeht. Als Vertreter jenes ersten Stadiums muß selbst noch Dufay gelten, dessen Tätigkeit in den Beginn des 18. Jahrhunderts fällt, während Aepinus und Franklin, auf den Schultern der Genannten stehend, dem zweiten Zeitraum angehören. Der gegen das Ende des 18. Jahrhunderts anhebenden Epoche blieb es dann vorbehalten, durch messende Beobachtung

---

1) Siehe Bd. I, Abschnitt 13.

2) Der Engländer Wall in den Philosoph. Transact. v. 1698.

zu den Gesetzen der Reibungselektrizität zu gelangen[1]). Hieran erst konnte sich das deduktive, von den Hilfsmitteln der Mathematik und der Mechanik Gebrauch machende Verfahren anreihen, womit auch auf diesem Gebiete endlich diejenige Stufe erreicht war, welche der Wissenschaft nach einem Ausspruch Galileis in allen ihren Teilen erst eine würdevolle Behandlung verleiht[2]).

Eine Anzahl grundlegender Versuche verdankt die Elektrizitätslehre dem Franzosen Dufay (1698—1739)[3]). Die von Dufay verfertigten Blattgoldelektroskope führten diesen Forscher zu der Entdeckung, daß es zwei Arten der Elektrizität gibt. Dufay ging von der Voraussetzung aus, daß ein mit dem Glasstab elektrisiertes Blättchen von jedem Körper, der durch Reiben in den gleichen Zustand versetzt sei, abgestoßen werden müsse. Diese Voraussetzung bestätigte sich indes nicht; denn als er dem Blättchen geriebene Kopalstücke und andere harzartige Körper näherte, wurde es von letzteren angezogen. Dufay war der erste, welcher aus diesem Grunde zwei Arten von Elektrizität unterschied, die er als Harz- und Glaselektrizität bezeichnete. Später erkannte man indes, daß diese Benennungen irreführend sind, da harzartige Körper mit Glaselektrizität, glasartige dagegen mit Harzelektrizität geladen werden können[4]). Deshalb wurden die Glas- und die Harzelektrizität als positive und negative Elektrizität bezeichnet. Dufay war es auch, der zuerst auf den Zusammenhang zwischen dem Leitungsvermögen und der Elektrisierbarkeit der Körper aufmerksam machte. Man fing nun an, die Nichtleiter in ausgedehnter Weise als Isolatoren zu benutzen. So gelang es dem genannten Forscher, einen an Haarschnüren oder an seidenen Stricken hängenden Menschen zu elektrisieren und ihm Funken zu entlocken.

Die ersten Beobachtungen über die Fortleitung der Elektrizität rühren bekanntlich von Guericke her. Ausgedehntere Versuche über das Leitungsvermögen stellte zuerst ein Zeitgenosse Dufays, der Engländer Stephan Grey, an. Er verschloß eine Glasröhre vermittelst eines Korkstopfens, um zu untersuchen, ob sie sich, so vorbereitet, in gleicher Weise durch Reiben elektrisieren lasse.

---

[1]) Vier Abhandlungen über Elektrizität und den Magnetismus von Coulomb (1785—1786). (Ostwalds Klassiker Nr. 13.) Leipzig, Wilhelm Engelmann. 1890.

[2]) Galilei, Unterredungen und mathematische Demonstrationen (Ostwalds Klassiker Nr. 24, Seite 80).

[3]) Six Mémoires sur l'électricité, erschienen in den Memoiren der Pariser Akademie von 1733 und 1734.

[4]) Siehe auch die Ausführungen von Aepinus, Bd. I ds. Grds., Seite 177.

Grey bemerkte keinen Unterschied, fand aber, daß der Stopfen auch elektrisch geworden war, da er auf eine Feder wie die Glasröhre wirkte. Darauf steckte er in den Stopfen einen Holzstab, der am andern Ende eine Elfenbeinkugel trug. Wurde nun die Glasröhre gerieben, so zeigte sich die Kugel gleichfalls elektrisch. Die Zustandänderung hatte sich also von dem Glase aus durch den Stopfen und das Holz bis auf die Kugel fortgepflanzt. Um die Frage zu entscheiden, bis auf welche Entfernung eine derartige Fortpflanzung möglich sei, ersetzte Grey den Holzstab durch einen ausgespannten Faden, der in seidenen Schleifen hing. Es gelang, eine Wirkung auf Entfernungen bis zu 700 Fuß nachzuweisen. Ließ man den Bindfaden nicht auf Seide, sondern auf Draht ruhen, so mißlang der Versuch. Auch hierdurch wurde man auf den Unterschied zwischen Leitern und Nichtleitern aufmerksam gemacht. Als letztere lernte man Haare, Seide, Harz und Glas kennen und zu ferneren Versuchen benutzen.

Nachdem man gefunden, daß der menschliche Körper in den elektrischen Zustand versetzt werden kann, wurde dieser Versuch auch auf andere Leiter ausgedehnt. Dadurch wurde man auf eine eigentümliche Entdeckung geführt. Zwei Leydener Physiker[1]) suchten Wasser, welches sich in einem isolierenden Glaßgefäß befand, dadurch zu elektrisieren, daß sie es vermittelst eines Drahtes mit einer geriebenen Glasröhre in Verbindung setzten. Als der eine von ihnen zufällig das Gefäß in der Hand hielt und zu gleicher Zeit die Röhre berührte, erhielt er einen kräftigen Schlag, welcher besonders im Arm und in der Brust zu spüren war. In der betreffenden Mitteilung, welche 1746 nach Paris gelangte, hieß es, man sei in Leyden auf einen erschrecklichen Versuch geraten, dem sich die Erfinder nicht um die Krone Frankreichs zum zweitenmal aussetzen würden. Die Entdeckung erregte großes Aufsehen und führte der Beschäftigung mit elektrischen Versuchen zahlreiche Liebhaber zu. Jene Vorrichtung, welche man in der Folge als die Leydener Flasche bezeichnete, wurde in Frankreich im Beisein des Königs durch eine Kette von mehr als hundert Personen entladen. Das Wasser und die Hand, welche bei dem ursprünglichen Versuch die Rolle des Belags gespielt hatten, wurden bald darauf durch Zinn ersetzt. Auch machte man die Beobachtung, daß die Leydener Flasche die Elektrizität lange Zeit behält und daß sie sich nicht laden läßt, wenn sie isoliert ist. Zu

---

[1]) Musschenbroek und Cunaeus.

einem Verständnis dieses Verhaltens gelangte erst Franklin. Als dieser eine an einem Seidenfaden hängende leichte Kugel dem inneren Belage näherte, wurde sie in bekannter Weise zunächst angezogen, dann aber, nachdem sie gleichfalls elektrisch geworden war, wieder abgestoßen. Näherte man die Kugel jetzt dem äußeren Belag, so wurde sie angezogen. Die Beläge sind somit entgegengesetzt geladen, und die Entladung der Flasche besteht in dem Ausgleich dieser entgegengesetzten Elektrizitäten.

Die weitere Erforschung der Reibungselektrizität wurde dadurch außerordentlich gefördert, daß man nach dem Vorgange

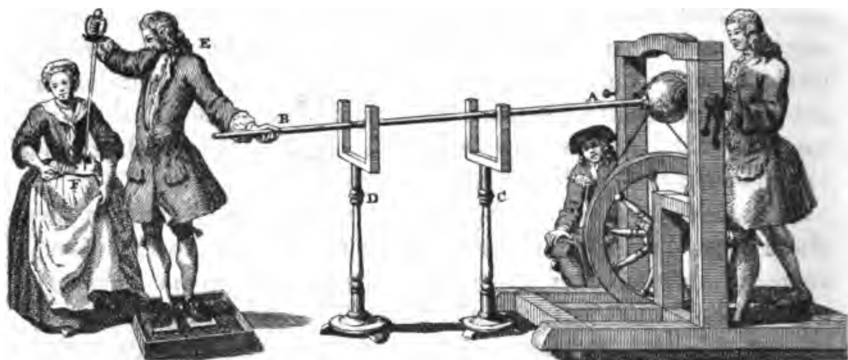


Abb. 60. Elektrisiermaschine aus dem Jahre 1744. (Aus Gerland und Traumüller, Geschichte der physikalischen Experimentierkunst.) Als Reibzeug dient noch die Hand. Ihr gegenüber befindet sich als Konduktor eine auf seidenen Schnüren liegende Metallröhre A B, deren Ende A mit einem Bündel Fäden an Stelle des Saugkammes versehen ist. E steht auf einem mit isolierender Substanz (Pech) gefüllten Kasten. Aus der Spitze des Degens springt ein Funken über, welcher den im Löffel F befindlichen Weingeist entzündet.

Guerickes zur Anwendung maschineller Vorrichtungen zurückkehrte. Einem Leipziger Professor der Physik[1]) wurde im Jahre 1743 von einem seiner Zuhörer der Vorschlag gemacht, sich das mühevolle Reiben der Glasröhre dadurch zu ersparen, daß er eine größere Glaskugel in Drehung versetze. Dieser Vorschlag erwies sich als über Erwarten praktisch, zumal, nachdem ein Leipziger Handwerker den neuen Apparat mit dem ersten Reibzeug versehen hatte, welches aus einem wollenen Kissen bestand. Bald darauf wurde neben der Glaskugel ein isolierter Metallkörper als Konduktor angebracht. Diesen Konduktor finden wir schon wenige

1) Namens Hansen.

Jahre, nachdem Hansen seine Maschine gebaut, mit einem Saugkamm versehen[1]), so daß noch vor Ablauf der ersten Hälfte des Jahrhunderts die Elektrisiermaschine in ihrer noch jetzt gebräuchlichen Einrichtung den Physikern zu Gebote stand. Im weiteren Verlaufe des 18. Jahrhunderts ersetzte man die Kugel durch die handlichere Glasscheibe[2]) und versah das Reibzeug mit dem bekannten von Kienmayer empfohlenen Amalgam[3]).

Die Elektrisiermaschine kam nun sozusagen in Mode. Das Interesse, welches ihr bemittelte Dilettanten entgegenbrachten, bewirkte, daß sie schließlich gewaltige Verhältnisse annahm[4]). In rascher Folge wurden jetzt die wichtigsten Erscheinungen der Reibungselektrizität entdeckt. Die zündende Wirkung des Funkens wurde an Schießpulver, Äther und anderen brennbaren Stoffen dargetan. Es gelang sogar, vermittelst eines elektrisierten Wasserstrahles Weingeist in Brand zu setzen. Auch versuchte man die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Elektrizität zu bestimmen, indem man den Schlag einer Leydener Flasche durch einen mehrere tausend Toisen langen Draht leitete (siehe Abb. 61). Da sich hierbei kein meßbarer Zeitunterschied ergab, so konnte man zunächst nur auf eine sehr große Geschwindigkeit schließen. Diese zu bestimmen, war eine neue, sinnreiche Methoden erfordernde Aufgabe der

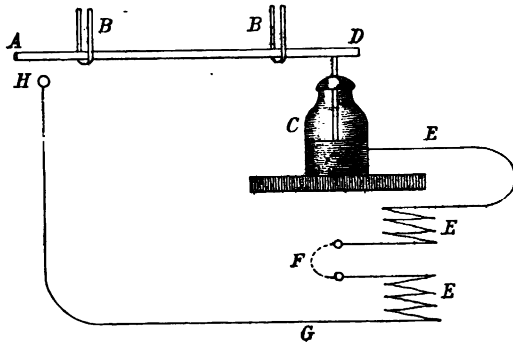


Abb. 61. Watsons Versuch, die Geschwindigkeit der Elektrizität in einem Drahte zu bestimmen. Der innere Belag der Leydener Flasche C steht mit dem isoliert aufgehängten leitenden Stabe AD in Verbindung. Von dem äußeren Belag geht ein Draht nach der Kugel H. In F wird eine Person eingeschaltet. Obgleich das Drahtstück zwischen F und H etwa 12000 Fuß lang war, konnte der in F befindliche Beobachter doch keinen Zeitunterschied zwischen der empfangenen Erschütterung und dem Überspringen des Funkens bei H feststellen.

1) Durch Wilson im Jahre 1746.

2) 1755.

3) Journal de Phys. 1788.

4) v. Marum, Description d'une très-grande machine électrique et des expériences faites par le moyen de cette machine. 1785.

Experimentalphysik. Doch knüpfte man auch später an den der obigen Versuchsanordnung (Abb. 61) zu grunde liegenden Gedanken wieder an, nur daß an Stelle der unmittelbaren Beobachtung der rasch rotierende Spiegel trat. Auch der naheliegende Gedanke, das Verhalten des Funkens im Vakuum zu untersuchen, kam zur Ausführung[1]). Hierbei zeigte sich, daß die Elektrizität den luftleeren Raum auf eine beträchtliche Strecke durchdringt. Nach der Beschreibung des ersten Beobachters erfüllte das elektrische Feuer die ganze Röhre, so daß man, solange die Maschine in Bewegung blieb, eine ununterbrochene Lichterscheinung wahrnahm. Daß der weitere Verfolg dieses Versuches zur Erfindung der Geißlerschen Röhre und endlich in der neuesten Zeit zur Entdeckung eigentümlicher Strahlengattungen geführt hat, ist bekannt.

Dieser Welt von neuen, wunderbaren Erscheinungen gegenüber, denen man nichts Ähnliches an die Seite stellen konnte, erhob sich schon bei den Elektrikern des 18. Jahrhunderts die Frage nach einer Ursache derselben. War die Elektrizität ein Stoff, so ließ sich erwarten, daß die Körper durch das Elektrisieren eine Gewichtszunahme erfahren würden. Alle Bemühungen, die nach dieser Richtung angestellt wurden, blieben jedoch ohne Erfolg[2]). Zu dem gleichen Ergebnis war man gelangt, als man Gegenstände in erhitztem Zustande und bei gewöhnlicher Temperatur wog. Aus diesen Versuchen wurde nun keineswegs gefolgert, daß die Elektrizität und die Wärme bloße Zustände seien, sondern es wurde der Begriff des unwägbaren Stoffes oder der Imponderabilie, aus welchem man ja auch die Lichterscheinungen zu erklären suchte, auf die elektrischen, die verwandten magnetischen und die kalorischen Vorgänge ausgedehnt. Diese Lehre von den Imponderabilien hat die Physik bis in das 19. Jahrhundert hinein beherrscht. Sie wurde bezüglich der Wärme zuerst von Rumford und Davy erschüttert. Ihre endgültige Beseitigung auf allen Gebieten ist eine Aufgabe, welche die Wissenschaft bis auf unsere Tage beschäftigt hat.

Obgleich die Lehre von den Imponderabilien nicht im stande war, einem vorgeschrittenen Kausalitätsbedürfnis zu genügen, bot sie bei der Stufe des Wissens, die das 18. Jahrhundert erreicht, doch die einzige Möglichkeit einer Erklärung. Diejenigen, welche die Lichterscheinungen auf die Fortbewegung eines besonderen Stoffes

---

1) Watson in Philos. Transact. 1748. Vol. 45. Nr. 485. S. 92.
2) J. C. Fischer, Geschichte der Physik. 1801—1808. V. 483.

zurückführten, waren auch gezwungen, weitere Stoffe als Träger der Wärme, der elektrischen und der magnetischen Vorgänge anzunehmen. Einfacher gestaltete sich die Theorie der Elektrizität bei solchen Physikern, welche die Lichterscheinungen auf Wellenbewegung zurückführten. So besteht für Euler kein Zweifel, daß die Quelle aller elektrischen Vorgänge in dem Äther zu suchen sei, in welchem sich das Licht fortpflanzt. Die Elektrizität, meint er, sei nichts als eine Störung im Gleichgewichte dieses Äthers, welcher in die Körper hineingepreßt oder aus ihnen herausgetrieben werde, je nachdem sie die eine oder die andere Art des Erregungszustandes aufwiesen[1]).

Von einer ähnlichen Vorstellung ließ sich Franklin bei seinen Untersuchungen leiten. Die Körper waren für ihn positiv oder negativ elektrisch, je nachdem sie ein Zuviel oder ein Minder des angenommenen elektrischen Fluidums enthielten, während sie unelektrisch seien, wenn sich dieses Fluidum außerhalb und innerhalb der Körper im Gleichgewicht befände. Andere wieder, wie Symmer, zogen es vor, die verschiedenen elektrischen Zustände aus der Annahme zweier Fluida zu erklären. Der hieraus entstehende Streit der Unitarier und Dualisten, so zwecklos er an sich auch war, bewirkte, daß die experimentelle Erforschung der in Frage kommenden Erscheinungen lebhaft gefördert wurde. Das Interesse dafür wurde ein solch allgemeines, daß den Physikern von Beruf mancher Bundesgenosse aus dem Laienkreise erstand. Der hervorragendste unter den letzteren war der soeben genannte Franklin.

Benjamin Franklin wurde am 17. Januar 1706 in Governors Island bei Boston geboren. Sein Vater hatte den englischen Heimatsboden verlassen, weil er dort nicht ungehindert seiner religiösen Überzeugung leben konnte. Da er sich und eine zahlreiche Familie durch Seifensieden nur mühsam ernährte, so wurde der junge Benjamin frühzeitig von der Schule genommen und seinem älteren Bruder, einem Buchdrucker, in die Lehre gegeben. Nachdem Franklin einige Zeit in England als Setzer tätig gewesen, rief er in Philadelphia eine Zeitung und eine Druckerei ins Leben.

Zur Beschäftigung mit der Elektrizitätslehre wurde Franklin dadurch angeregt, daß der Londoner Kaufmann Collinson der Bibliotheksgesellschaft zu Philadelphia einige Gegenstände für elektrische Versuche übersandte. Ein Jahr später konnte Franklin

1) Eulers Briefe an eine deutsche Prinzessin. Leipzig 1773. Bd. II. S. 245 ff.

an Collinson schreiben[1]): „Mein Eifer und meine Zeit wurden nie zuvor durch etwas in solchem Maße in Anspruch genommen. Ich stelle Versuche an, sobald ich allein sein kann, und wiederhole sie in Gegenwart meiner Freunde, welche in Scharen kommen, um sie zu sehen. Ich habe kaum Zeit für irgend etwas anderes.“ Seine Ergebnisse legte Franklin in einer Anzahl von Briefen nieder, welche zum größten Teil an Collinson gerichtet sind und von diesem der Royal Society mitgeteilt wurden. Die ersten Briefe handeln von der Ladung der Leydener Flasche und der unitarischen Lehre; spätere betreffen das Gebiet der atmosphärischen Elektrizität, welches durch Franklins Arbeiten erst erschlossen wurde.

Als die griechische Philosophie an die Stelle der mythischen Betrachtung eine ursächliche Erklärung des Naturgeschehens zu setzen begann, führte man das Gewitter auf schweflige, brennbare Dünste zurück, die sich in den Wolken ansammeln und als Blitz die letzteren durchbrechen sollten. Selbst im 17. Jahrhundert ahnte noch niemand die wahre Natur der Erscheinung. Nach Descartes bestand das Gewitter in einem Herabfallen der oberen Wolken auf die darunter befindlichen. Euler erzählt, daß man die ersten, welche eine Ähnlichkeit zwischen den elektrischen Erscheinungen und dem Blitz zu finden vermeinten, als Träumer angesehen habe[2]). Was im Beginn des 18. Jahrhunderts als bloße Vermutung geäußert wurde, erhob nun Franklin durch seine Untersuchungen auf den Boden der Gewißheit. Für die Übereinstimmung des Blitzes mit dem elektrischen Funken führt er folgende Gründe und Beweise an[3]): 1. Die Ähnlichkeit des Lichtes, sowie des Geräusches und das fast Augenblickliche beider Erscheinungen. 2. Der Funke wie der Blitz sind im stande, Körper zu entzünden. 3. Beide vermögen lebende Wesen zu töten. (Franklin tötete ein Huhn durch die Entladung mehrerer Leydener Flaschen.) 4. Beide rufen mechanische Zerstörungen hervor und erzeugen einen Geruch nach verbranntem Schwefel[4]). 5. Der Blitz und die Elektrizität folgen denselben Leitern und springen vorzugsweise auf die Spitzen über. 6. Beide sind im stande, den Magnetismus zu zerstören oder auch die Pole eines Magneten umzukehren. 7. Durch den Funken können

1) In dem ersten der an Collinson gerichteten Briefe vom 28. III. 1747.

2) Eulers Briefe an eine deutsche Prinzessin. 1773. Bd. II, Seite 287.

3) Franklin, Experiments and observations on electricity, 1769.

4) Das Bestreben, die Ursache dieses sogenannten elektrischen Geruches zu ermitteln, führte später zur Entdeckung des Ozons. Siehe Bd. I d. Grundrisses, Abschnitt 64.

ebenso wie durch den Blitz Metalle zum Schmelzen gebracht werden. An die Versuche, durch welche Franklin den letzten Punkt dieser Aufzählung zu erweisen suchte, knüpfte sich eine Meinungsverschiedenheit mit seinem Freunde und Nachbarn Kinnersley. Dieser befaßte sich nämlich gleichfalls mit elektrischen Versuchen und führte sie als wandernder Experimentator seinen Landsleuten vor. Franklins Verfahren, Metalle durch den Funken zu schmelzen, bestand darin, daß er dünne Blättchen von Zinn oder Gold zwischen zwei Glasscheiben legte und eine große Leydener Flasche durch diese Blättchen entlud[1]). Letztere wurden dadurch in feinste Teilchen zerstiebt, ein Vorgang, welchen Franklin als kalte Schmelzung bezeichnete, da ihn sein Verfahren die bei der Entladung auftretende Wärme nicht erkennen ließ. Die kalte Schmelzung sollte nicht durch Hitze, sondern dadurch zu stande kommen, daß das elektrische Fluidum in die Zwischenräume der Teilchen eindringe und auf diese Weise den Zusammenhang der Körper zerstöre. Demgegenüber zeigte nun Kinnersley, indem er die Entladung einer Batterie von 35 Flaschen durch einen Draht vor sich gehen ließ, daß Metalle zum Erglühen und sogar zum Schmelzen gebracht werden können. „Ihr herrlicher Versuch," schrieb darauf Franklin, „setzt außer Zweifel, daß unsere künstliche Elektrizität Hitze hervorbringt und daß, wenn sie Metalle schmilzt, dies nicht durch das geschieht, was ich als kalte Schmelzung bezeichnet habe[2])."
Nicht nur die Wärmeentwicklung, sondern auch die chemische Wirkung der Elektrizität wurde schon in diesem Zeitraum, also noch vor der Erfindung der galvanischen Elemente, bekannt. In Europa angestellte Versuche lieferten nämlich den Nachweis, daß sich mit Hilfe des Entladungsschlages aus Metalloxyden Metalle herstellen lassen. So erhielt ein italienischer Physiker auf diesem Wege Zink aus Zinkoxyd und Quecksilber aus Zinnober[3]).

Den unmittelbaren Nachweis der atmosphärischen Elektrizität lieferte Franklin durch seinen berühmt gewordenen Versuch mit dem Drachen. Letzterer besaß eine eiserne Spitze und wurde im Juni des Jahres 1752 während des Gewitters an einer Hanfschnur emporgelassen. Die Schnur war an einen Schlüssel geknüpft, welcher mit einem seidenen Tuche festgehalten wurde. Zuerst blieb der

---

1) Franklin in seinem 5. Briefe an Collinson.

2) Franklins Brief an Kinnersley vom 20. II. 1762.

3) Beccaria, Lettere dell' elettricismo, pg. 282. Siehe J. C. Fischer, Geschichte der Physik (1801—1808). Bd. V. 753.

erhoffte Erfolg aus. Als die Schnur jedoch feucht geworden war und eine Wolke an dem Drachen vorüberzog, sträubten sich die losen Fäden, und als Franklin jetzt die Knöchel seiner Hand dem Schlüssel näherte, vermochte er deutliche Funken aus ihm hervorzuziehen. Das zweite von Franklin in Vorschlag gebrachte Verfahren, welches indes in Europa früher zur Ausführung gelangte als in Amerika, bestand darin, daß man hohe Eisenstangen errichtete und diesen während des Gewitters Elektrizität entzog, ein Versuch, welchen fast zur selben Zeit, als Franklin seinen Drachen steigen ließ, einige Franzosen in der Nähe von Paris dem Könige vorführten. Später entdeckte Franklin, daß die Wolken bald positiv, bald negativ geladen sind. Diese Untersuchungen führten ihn schließlich auf den Gedanken, jene Eisenstangen als Blitzableiter zum Schutze von Gebäuden zu empfehlen [1]), ein Vorschlag, welcher in Amerika und bald darauf auch in Europa allseitige Beachtung fand. Wir haben im I. Bande einen späteren aus Paris datierten Brief kennen gelernt, in welchem Franklin über seine Erfindung, sowie die Überlegungen, welche ihn darauf geleitet haben, berichtet [2]).

Ebenso bekannt wie durch seine wissenschaftlichen Erfolge ist Franklin durch die Rolle geworden, welche er in der politischen Geschichte seines Vaterlandes gespielt hat. Während des amerikanischen Unabhängigkeitskampfes hielt sich Franklin in Paris auf, wo er im Jahre 1783 die Friedensverhandlungen unterzeichnete. Die Bewunderung, welche dem schlichten und doch so bedeutenden Manne von ganz Frankreich gezollt wurde, fand einen beredten Ausdruck in dem von d'Alembert an ihn gerichteten Worte: Eripuit coelo fulmen sceptrumque tyrannis [3]). Der Tod Franklins (am 17. April des Jahres 1790) versetzte, wie die von Washington gehaltene Rede bekundet, sein Vaterland in tiefe Trauer. Auch Europa, wo Mirabeau ihm einen Nachruf widmete, nahm lebhaften Anteil. Es war ein Augenblick, in welchem das Gefühl der geistigen Zusammengehörigkeit zwischen der alten Welt und der jungen, neuen Stätte der Kultur voll zum Ausdruck kam. Zwar sollte die Mitarbeit des amerikanischen Volkes an den Aufgaben der Wissenschaft nicht sobald Platz greifen, wie man nach den Erfolgen eines Franklin hätte erwarten mögen. Es harrten eben noch zu viele

1) Es geschah dies in seinem vom 12. September 1753 datierten Briefe.
2) Siehe Bd. I, Abschnitt 32.
3) Er entriß dem Himmel den Blitz und das Scepter den Tyrannen.

andere Aufgaben ihrer Erledigung, so daß ein volles Jahrhundert verstreichen konnte, bis die Wissenschaft jenseits des Ozeans die gleiche Pflege fand, welche sie in den alten Staaten Europas genießt.

Neben der durch Reibung und durch atmosphärische Vorgänge erzeugten Elektrizität lernte man auch die Erregung dieser Kraft durch physiologische Vorgänge und durch Wärmezufuhr kennen. Um die Mitte des 18. Jahrhunderts tauchte die Vermutung auf, daß man es in der schon von den Schriftstellern des Altertums erwähnten eigentümlichen Wirkung des Zitterrochens auf den Menschen und andere lebende Wesen mit einer elektrischen Erscheinung zu tun habe. Seit Richers Anwesenheit in Cayenne war man auch mit dem Zitteraal der südamerikanischen Gewässer bekannt geworden. Indes erst ein Jahrhundert, nachdem Richer[1]) über dieses eigentümliche Geschöpf berichtet, hatte sich die Elektrizitätslehre soweit entwickelt, daß man die Identität jener physiologischen und der durch Reibung erzeugten Erscheinungen nachzuweisen vermochte. Dies geschah einmal dadurch, daß man den Impuls durch eine Kette von Personen leitete, wobei die erste und die letzte den Fisch an der Ober-, beziehungsweise an der Unterseite berührten. Alle empfingen dann einen Erschütterungsschlag, wie ihn die Leydener Flasche erteilt. Der zweite Nachweis bestand darin, daß man die Entladung durch einen auf Glas geklebten Stanniolstreifen vor sich gehen ließ, welcher eine Unterbrechung besaß. An der Stelle, wo sich diese befand, sah man bei jedem Schlage, den der Fisch bewirkte, einen elektrischen Funken überspringen[2]).

Noch eine zweite, schon lange bekannte Erscheinung wurde um die Mitte des 18. Jahrhunderts als eine elektrische gedeutet. Bei der von den Juwelieren an Edelsteinen ausgeübten Prüfung konnte es nicht lange verborgen bleiben, daß der Turmalin, wenn er auf glühende Kohlen gelegt wird, Aschenteilchen anzieht und wieder von sich stößt[3]). Dieses eigentümliche, an das elektrische Pendel erinnernde Verhalten leichter Körper dem erwärmten Turmalin gegenüber wurde von Aepinus[4]) genauer untersucht. Letzterer fand, daß die Erscheinung nur bei ungleicher Erwärmung der beiden Enden des Kristalls eintritt, sowie daß diese dabei entgegengesetzt elektrisch werden. Der 33. Abschnitt des I. Bandes

---

1) Im Jahre 1671.

2) Fischer, Geschichte der Physik, Bd. V, Seite 867.

3) Der Turmalin wurde daher auch als Aschenzieher bezeichnet.

4) Siehe Bd. I ds. Grdr., Abschnitt 33.

hat uns mit der von Aepinus selbst gegebenen Darstellung dieses Verhaltens bekannt gemacht. Später hat man diese Erscheinung als pyroëlektrisch bezeichnet und sie auch an anderen Mineralien wahrgenommen[1]). Aepinus entdeckte ferner, wie seine an derselben Stelle beschriebenen Versuche dartun, die als Influenz bekannte Erregung, welche bei der bloßen Annäherung eines elektrisierten an einen isolierten Körper in dem letzteren hervorgerufen wird. Die Beobachtung, daß sowohl der durch Erwärmung wie der durch Influenz elektrisierte Körper an beiden Enden entgegengesetzte Elektrizitäten aufweist, veranlaßte Aepinus, eine Analogie zwischen den elektrischen und den magnetischen Erscheinungen, bei denen bekanntlich stets eine solche Polarität wahrgenommen wird, zu behaupten. Die Zeit, den innigen Zusammenhang dieser Naturkräfte zu erkennen, war jedoch noch nicht gekommen; es war dies vielmehr die vornehmlichste Aufgabe, welche der naturwissenschaftlichen Forschung des 19. Jahrhunderts vorbehalten blieb.

Einen gewissen Abschluß fanden die Entdeckungen auf dem Gebiete der statischen Elektrizität durch Coulombs erfolgreiche Bemühungen, messend an die bis dahin vorzugsweise nur in der Art ihrer Wirkungen erforschte Naturkraft heranzutreten. Der französische Physiker Coulomb[2]) erfand zu diesem Zwecke seine Drehwage, von deren Einrichtung und Gebrauch uns die nebenstehende Abb. 62 Kenntnis gibt. Ein Glascylinder A B C D von etwa 30 cm Höhe wurde mit einer doppelt durchbohrten Glasplatte bedeckt. Durch ihre Mitte ist ein frei hängender, an der Scheibe o p befestigter Silberdraht q p geführt, welcher an seinem unteren Ende die zu elektrisierende, möglichst isolierte Kugel a trägt. Ein Scheibchen g hat nur die Aufgabe, der Kugel a das Gegengewicht zu halten. Die Verbindung zwischen a und g besteht aus einem mit Siegellack überzogenen Seidenfaden. Die Scheibe o p, welche den Silberfaden trägt, und der Umfang des großen Glascylinders besitzen Gradeinteilungen. Die in der Abbildung rechts dargestellten Teile (H dient zur Fassung der Gradscheibe G) werden beim Gebrauch der Drehwage vereinigt und in der über dem Cylinder befindlichen, etwa einen halben Meter langen Glasröhre

[1]) So am Kalkspat, Gips, Feldspat, Flußspat, Diamant u. s. w. Siehe C. F. Naumann, Elemente der Mineralogie. 10. Aufl. 1877. Seite 166. (14. Aufl. 1901.)

[2]) Charles Augustin Coulomb wurde 1736 zu Angoulême geboren und starb 1806 in Paris. Seine Abhandlungen über die Drehwage erschienen in den Abhandlungen der königlichen Akademie der Wissenschaften zu Paris im Jahre 1785 und 1786.

untergebracht. Durch die seitliche Öffnung des Glasdeckels werden elektrisierte Kugeln (d) eingeführt, deren Wirkung auf den in der Schwebe befindlichen elektrisierten Körper a man messen will. Ein Maß für die abstoßenden Kräfte ist in der Torsion des Silber-

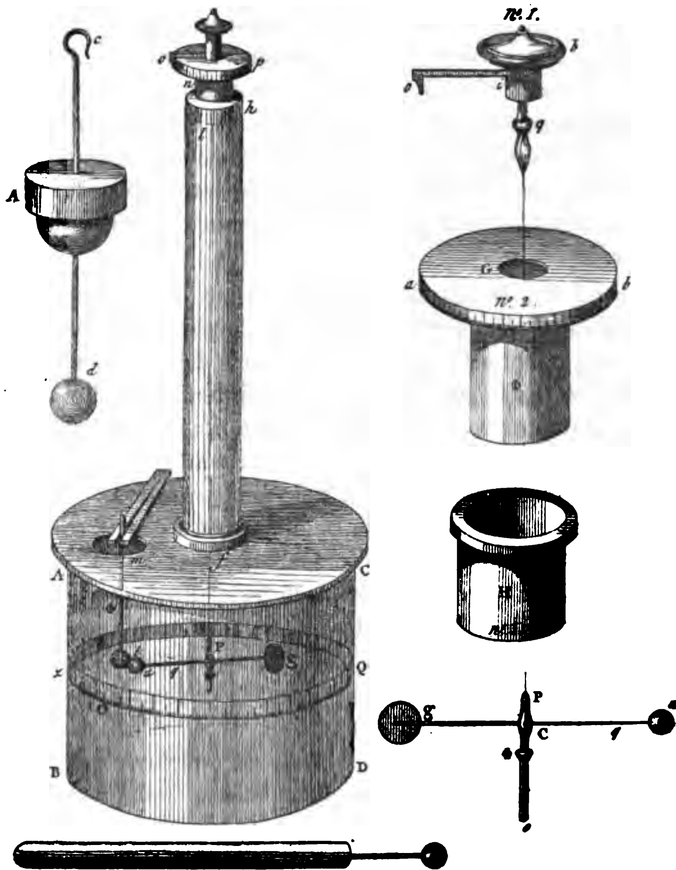


Abb. 62. Coulombs elektrische Wage[1]).

drahtes gegeben, welche die Kugel a in ihre ursprüngliche Lage zurückzudrehen strebt und an der Gradeinteilung abgelesen werden kann.

[1]) Vier Abhandlungen über die Elektrizität und den Magnetismus von Coulomb, übersetzt und herausgegeben von Walter König. (Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften Nr. 13. Leipzig, Verlag von Wilhelm Engelmann, 1890.) Fig. 1—5.

Das wichtigste Ergebnis der Coulombschen Versuche bestand in dem Nachweise, daß die Anziehungen elektrisierter Körper sich verhalten wie die Produkte der Elektrizitätsmengen und umgekehrt wie die Quadrate der Entfernungen.

Die weitere Untersuchung zeigte, daß dieses Newtons Gravitationsgesetz entsprechende Gesetz ganz allgemein für alle elektrischen und magnetischen Anziehungen sowohl als Abstoßungen Gültigkeit besitzt. Mit diesem Gesetz von Coulomb war zugleich die Grundlage gewonnen, um von hier aus deduktiv zu verfahren und eine mathematische Theorie der elektrischen und magnetischen Erscheinungen aufzubauen, eine Aufgabe, welche mit Hilfe der höheren Analysis in den ersten Jahrzehnten des 19. Jahrhunderts gelöst wurde[1]).

Während der Hauptanreiz zum Studium der elektrischen Phänomene in dem Wunderbaren und Außergewöhnlichen lag, das sich in ihnen offenbart, wandte man sich den Erscheinungen der Wärme mit wachsendem Interesse zu, seitdem man die bewegende Kraft des Dampfes kennen und verwerten gelernt hatte. Durch die Versuche Herons von Alexandrien war schon das Altertum mit den Äußerungen dieser Kraft bekannt geworden. Dazu waren seit Beginn der neueren Zeit die Bemühungen Portas und anderer gekommen. Der grundlegende Versuch, welcher zur Erfindung der Dampfmaschine führte, von der doch erst die Rede sein konnte, sobald die unter dem Namen der einfachen Maschinen bekannten Mechanismen durch den Dampf in Bewegung gesetzt wurden, rührt von Papin her. Es ist dies ein Versuch, welcher noch heute beim elementaren Physikunterricht angestellt wird. Papin verdampfte Wasser in einem cylindrischen Gefäß, in welchem sich ein luftdicht schließender, beweglicher Kolben befand (siehe Abbildung 63). Dieser Kolben wurde beim Erhitzen durch den Dampf emporgehoben, bei einer darauf folgenden Abkühlung aber infolge des Luftdruckes wieder abwärts bewegt. Durch die Verbindung der Kolbenstange mit dem zweiarmigen Hebel (siehe Abb. 63) entstand die Dampfmaschine in ihrer einfachsten Gestalt. Die Lösung, welche Papin gab, war indes mehr eine theoretische als eine praktisch verwertbare.

---

1) Siehe G. Green, Ein Versuch, die mathematische Analysis auf die Theorieen der Elektrizität und des Magnetismus anzuwenden. Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften Nr. 64 Herausgegeben von von Oettingen und Wangerin. Leipzig, Verlag von W. Engelmann. 1895.

Technische Erfindungen von epochemachender Bedeutung lassen sich meist auf ein zwingendes Bedürfnis zurückführen. Ein solches war es auch, das eine brauchbare Dampfmaschine gerade zur rechten Zeit und an rechter Stelle ins Leben treten ließ. In England war man schon im Mittelalter auf den Schatz aufmerksam geworden, den der Boden in den mineralischen Brennstoffen enthält. In dem Maße, in welchem das Land den Schmuck seiner Wälder einbüßte, nahm der Abbau der Steinkohle an Umfang zu. Man mußte die vorhandenen Flöze bis in immer größere Tiefen verfolgen und befand sich schließlich der Unmöglichkeit gegenüber, durch Tier- und Menschenkraft die Wasserhaltung in den Gruben zu bewerkstelligen. Diesem Zwecke wurde nun im 18. Jahrhundert der Dampf dienstbar gemacht. Nach vielen mühsamen Versuchen gelang es Newcomen im Jahre 1712, eine Maschine in Gang zu setzen, welche zwar nur zehn Hube in der Minute machte, aber schon eine Wassermenge förderte, zu deren

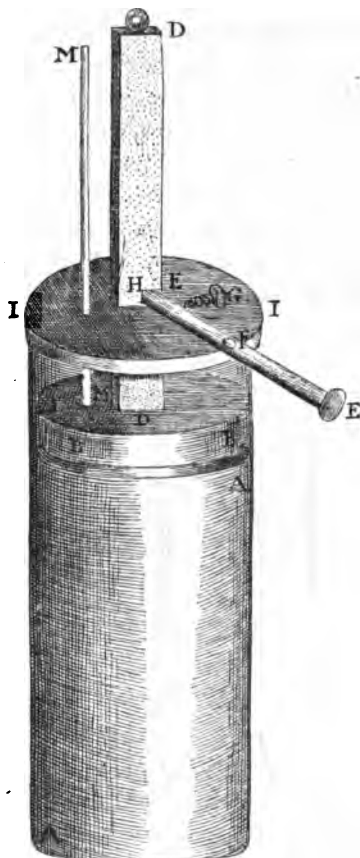


Abb. 63. Papins erste Dampfmaschine[1]). AA ist der eiserne Cylinder, BB der Kolben, DD die Kolbenstange, II der Deckel des Cylinders. Der um F drehbare Hebel EE wurde durch die Kolbenstange in Bewegung gesetzt. Eine Feder G drückte den Hebel fortwährend in eine Nut der Kolbenstange. Der Kolben besaß eine Durchbohrung, um beim erstmaligen Herabdrücken die im Cylinder befindliche Luft entweichen zu lassen. MM ist eine Stange, welche die erwähnte Durchbohrung nach dem Herabdrücken des Kolbens verschloß. Beim Erhitzen drückte der Dampf den Kolben nach oben, beim Abkühlen wirkte nur der Luftdruck. Die Maschine war also eine atmosphärische.

---

1) Acta eruditorum. 1690. Denis Papin wurde 1647 in Blois geboren und starb 1712 in London. Er hielt sich viele Jahre in Hessen (Marburg und Cassel) auf und stand mit Huygens und Leibniz in regem wissenschaftlichen Verkehr.

betrug 6,4 km in der Stunde[1]). Schon 6 Jahre früher hatte ein anderer Engländer seinen Landsleuten eine kleine Lokomotive vorgeführt, welche bei einem Druck von nahezu 3 Atmosphären 24 km in der Stunde zurücklegte und den Namen „Catch me, who can!" erhielt[2]). Trotzdem wurde erst im Jahre 1830 die erste, allgemeinen Zwecken dienende Eisenbahnlinie Liverpool-Manchester von Stephenson fertig gestellt. Der außerordentliche Aufschwung, den Gewerbe, Handel und Verkehr durch Männer erfuhren, welche gleich Watt und Stephenson die Grundlagen einer auf den Prinzipien der Physik beruhenden Technik schufen, kam mittelbar in stetig wachsendem Maße der Wissenschaft wieder zu gute.

Dem Andenken Watts wurde in der Westminsterabtei ein Denkmal mit folgender Inschrift errichtet:

Nicht um einen Namen zu verewigen,
Welcher dauern wird, so lange die Künste des Friedens blühen,
Sondern, um zu zeigen,
Daß die Menschheit denjenigen Ehre zollt,
Welchen sie Dank schuldet,
Haben der König, seine Diener, sowie zahlreiche Edle
Und Bürger des Königreichs
James Watt dieses Denkmal errichtet.
Dem Genie dieses Mannes gelang es,
Auf dem Wege des Versuches
Die Dampfmaschine zu verbessern.
Er hob dadurch den Reichtum seines Vaterlandes,
Vergrößerte die Macht der Menschen
Und stieg zu hohem Range
Unter den großen Förderern der Wissenschaft,
Den wahren Wohltätern der Menschheit.

Gleich der Dampfmaschine empfing im Laufe des 18. Jahrhunderts ein zweites, aus dem Studium der Wärmeerscheinungen hervorgegangenes Werkzeug seine endgültige Gestalt. Es war das Thermometer. Wir haben die Verdienste Galileis und der Accademia del Cimento um die Erfindung dieses Instrumentes kennen gelernt[3]). Von seiner Vervollkommnung hingen die Fortschritte auf dem Gebiete der Wärmelehre in erster Linie ab, ja

---

[1]) Engineering 1894, I, Seite 644.

[2]) Berndt, Die Entwicklung der Lokomotive. Darmstadt 1896.

[3]) Siehe Seite 140 ds. Bds.

das Streben nach einer solchen Vervollkommnung allein hat eine ganze Anzahl von wichtigen Entdeckungen zur Folge gehabt. Die Mitglieder der Accademia del Cimento hatten sich bei ihren Untersuchungen zwar schon wirklicher, auf der Ausdehnung von Weingeist beruhender Thermometer, indes noch einer willkürlichen Skala bedient. Durch Huygens und darauf durch Renaldini (1694) erfolgte der Vorschlag, den Gefrier- und den Siedepunkt des Wassers als Fixpunkte zu benutzen. Es handelte sich nun darum, zunächst den Gang der Ausdehnung von Weingeist, Quecksilber und anderen Flüssigkeiten näher zu untersuchen, eine Aufgabe, mit welcher sich vor allem Halley[1]) befaßt hat. Ferner galt es, die Beständigkeit der gewählten Punkte zu prüfen und dadurch ihre Annahme als Fixpunkte zu rechtfertigen. Eine nach dieser Richtung unternommene Arbeit führte Fahrenheit im Jahre 1724 zu der Erkenntnis, daß der Siedepunkt des Wassers von dem Druck der Atmosphäre abhängt, seine Bestimmung also bei einem vereinbarten Drucke zu erfolgen habe. Auch die unter dem Namen der Überkaltung bekannte Erscheinung, daß in völliger Ruhe befindliches Wasser weit unter den Gefrierpunkt abgekühlt werden kann, ohne zu erstarren, entdeckte Fahrenheit gelegentlich seiner thermometrischen Untersuchungen[2]). Fahrenheit selbst hat den Siedepunkt nicht als Fixpunkt gewählt, er brachte seine Thermometer zunächst in eine aus Eis und Salmiak bestehende Kältemischung und dann in schmelzendes Eis. Den so erhaltenen Fundamentalabstand teilte er in 32 Grade und setzte diese Teilung über den oberen Fixpunkt hinaus bis zu 600 fort, der Temperatur, bei welcher das Quecksilber zu sieden begann. Einen beständigen Wärmegrad schrieb er auch dem Blute des gesunden Menschen zu (96^0 seiner Skala). Die Anfertigung von Thermometern betrieb Fahrenheit, ein Danziger Kaufmann, der sein Vermögen eingebüßt hatte, gewerbsmäßig. Er war der erste, dem es trotz aller Unvollkommenheiten des Verfahrens gelang, seinen Instrumenten einen hinlänglich übereinstimmenden Gang zu geben. Aus unserer Darstellung geht auch hervor, daß er keineswegs, wie irrtümlich oft gelehrt wird, den Abstand zwischen dem Gefrierpunkt und

---

1) Halley, An account of several experiments made to examine the nature of the expansion and contraction of fluids, by heat and cold, in order to ascertain the divisions of the thermometer (Philos. Transact. 1693).

2) Siehe Fahrenheits Abhandlungen über Thermometrie (Ostwalds Klassiker, Nr. 57).

dem Siedepunkt in 180 Grade eingeteilt hat. Daß dieser Abstand einer runden Zahl entsprach, war vielmehr nur ein Zufall[1]).

Die von Réaumur und Celsius um die Ermittlung des zweiten Fixpunktes angestellten Bemühungen hat der Leser aus der im I. Bande wiedergegebenen Abhandlung des letzteren der beiden Forscher kennen gelernt[2]). Während Réaumur dem Weingeist den Vorzug gab und die Temperaturgrade, ausgehend von dem Gefrierpunkt des Wassers, der Volumzunahme seiner Thermometerflüssigkeit proportional setzte, bediente sich Fahrenheit bei seinen späteren Versuchen, sowie auch Celsius, des Quecksilbers, welches höhere Temperaturen zu messen gestattet. Auch das Luftthermometer und das Pyrometer sind Erfindungen jenes Zeitraumes, so daß die Methoden der Messung des Wärmezustandes zu einem gewissen Abschluß gebracht wurden.

Der Wärme selbst schrieb man im 18. Jahrhundert gleich dem Lichte stoffliche Natur zu, eine Auffassung, welche durch die Untersuchungen Wilkes[3]) eine Stütze zu erhalten schien. Dieser Forscher[4]) hatte nämlich entdeckt, daß beim Schmelzen des Eises eine bestimmte Menge Wärme für das Gefühl verloren geht und sich scheinbar mit dem Eise bei seinem Übergang in Wasser verbindet. So gelangte man dazu, von gebundener (latenter) und freier Wärme zu reden, Namen, welche zur Erhaltung der irrtümlichen Vorstellung von der Natur der Wärme jedenfalls mitgewirkt haben und dem Emporkommen neuer richtiger Anschauungen, die uns im Beginn der nächsten Periode begegnen, hinderlich gewesen sind. Die erste Erschütterung erfuhr die Stofftheorie indes schon in der Mitte des 18. Jahrhunderts. Alle Bemühungen nämlich, das Gewicht des zugeführten hypothetischen Wärmestoffes festzustellen, erwiesen sich als erfolglos[5]), wie es auch bezüglich des elektrischen Fluidums der Fall gewesen war. Es gab sogar Physiker, denen die Annahme eines einzigen Stoffes zur Erklärung der Wärmeerscheinungen nicht genügte. Wie man zwei entgegengesetzte elektrische Fluida annahm, so sollte es neben der Wärme noch einen besonderen Kältestoff geben, der z. B. in den zur Herstellung von Kältemischungen dienenden Salzen vorhanden sei.

1) Siehe auch Ostwalds Klassiker Nr. 57 (Abhandlungen über Thermometrie), Seite 126.

2) Siehe Bd. I, Abschnitt 23.

3) 1732—1796; geboren zu Wismar.

4) Sowie der Engländer Black. Siehe Bd. I d. Grdr., S. 200.

5) J. C. Fischer, Geschichte der Physik (1801—1808) V, 4.

Dieser Auffassung trat besonders Mariotte[1]) entgegen. Er ließ die Kälte nur als ein Mindermaß an Wärme gelten und unterschied durch klare Darlegung und Versuche die strahlende von der Körperwärme. Daß die erstere die Luft und manche anderen Substanzen durchdringt, ohne die Temperatur wesentlich zu erhöhen, wies er nach, indem er Schießpulver mittelst einer aus Eis bestehenden Linse entzündete. Auch gelangte man schon damals zu der Erkenntnis, daß die Wärmestrahlen wie das Licht sich mit großer Geschwindigkeit ausbreiten. Ein französischer Gelehrter[2]) brachte in den Brennpunkt eines Hohlspiegels eine erhitzte, indessen nicht leuchtende Metallkugel, während sich in dem Brennpunkt eines gegenüber befindlichen zweiten Hohlspiegels ein empfindliches Luftthermometer befand. Zwischen beiden Spiegeln, deren Abstand 25 m betrug, war ein Schirm aufgestellt. Entfernte man diesen, so begann die Absperrflüssigkeit des Thermometers in demselben Augenblicke zu steigen. Es begegnet uns schon hier ein Experiment, das mit geringen Abänderungen (Schießbaumwolle an Stelle des Luftthermometers) noch heute zu den beliebtesten Vorlesungsversuchen zählt. Aus der Tatsache, daß die Luft für Wärmestrahlen sehr durchlässig ist, läßt sich auch leicht die auf hohen Bergen wahrzunehmende geringe Temperatur erklären[3]).

Die hier geschilderten Fortschritte auf dem Gebiet der Wärmelehre hatten zur Folge, daß man sich dem chemischen Prozeß als einer der Hauptquellen der Wärme mit verdoppeltem Interesse zuwandte, sowie den Einfluß der Wärme auf den Verlauf der chemischen Vorgänge in Betracht zog. Damit wuchs zugleich die Einsicht in das Wesen und den Ursprung der animalischen Wärme. Letztere hatte man bisher wohl aus der Reibung des in den Gefäßen zirkulierenden Blutes zu erklären gesucht, während man die Atmung, in völliger Verkennung der Tatsachen, als ein Mittel zur Abkühlung des Blutes betrachtete. Stahl, der Begründer der Phlogistontheorie, und Hales, dessen große Verdienste um die Physiologie wir kennen lernen werden, erklärten jetzt die tierische Wärme als eine Folge der Atmung, während ihrer Meinung nach

---

[1]) Mariotte, Essai du chaud. 1740.

[2]) Pictet.

[3]) Hierauf wurde von Black hingewiesen. Siehe auch E. Mach, „Einfache Versuche über strahlende Wärme“ (Zeitschr. für den phys. und chem. Unterricht VII, 3).

der Zirkulation des Blutes die Aufgabe zufiel, die in den Lungen erzeugte Wärme dem übrigen Körper mitzuteilen. Der Atmungsprozeß wurde so zum erstenmal mit der Verbrennung in Parallele gestellt, wenn es auch dem Zeitalter Lavoisiers vorbehalten blieb, das wahre Wesen beider Vorgänge zu erfassen[1]). Auch im übrigen stehen die Leistungen der Chemie seit der Mitte des 18. Jahrhunderts mit der großen Tat Lavoisiers in solch inniger Verknüpfung, daß wir es vorziehen, beide im Zusammenhange zu betrachten.

Wesentlich bedingt durch die Fortschritte der Physik und der Chemie, entwickelten sich im 18. Jahrhundert die Mineralogie und die Geologie auf der in der vorhergehenden Epoche insbesondere durch Steno geschaffenen Grundlage weiter. Die Mineralien werden als Verbindungen erkannt und auch schon nach chemischen Gesichtspunkten in Brennstoffe, Metalle, Salze, Erden u. s. w. eingeteilt. Die Mineralanalyse erblickt nach dem Vorgange des schwedischen Naturforschers Bergmann ihre Aufgabe in der Abscheidung der Mineralbestandteile in Form von Verbindungen, welche der Zusammensetzung nach genau bekannt sind, da eine Isolierung dieser Bestandteile in der Regel schwierig ist. Aus dem Bedürfnisse, die Mineralien auch ohne eingehendere chemische Analyse zu erkennen, entspringt die Kennzeichenlehre, welche insbesondere auf der Verwendung des 1758 von Cronstedt eingeführten Lötrohrs beruht. Borax, Phosphorsalz und andere noch heute zur raschen Bestimmung gebräuchlichen Hilfsmittel kommen in Aufnahme. Auch die Farbe und die Spaltbarkeit werden als wichtige Kennzeichen verwertet. Ebenso wird das spezifische Gewicht berücksichtigt, doch begnügt man sich zunächst mit dem bloßen Abschätzen des letzteren. Eine größere Beachtung fand diese physikalische Konstante erst, nachdem in Nicholsons Senkwage[2]) ein bequemes Mittel zur raschen Bestimmung des spezifischen Gewichtes an die Hand gegeben war. Seitdem Steno auf die

[1]) Zu sehr klaren Anschauungen über die Rolle der Luft bei der Verbrennung und der Atmung kam schon im 17. Jahrhundert der Engländer John Mayow (1643—1679). Die Arbeiten dieses Mannes gerieten jedoch in Vergessenheit und wurden erst nach der Entdeckung des Sauerstoffs wieder ans Licht gezogen. Neuerdings wurde ihr wesentlichster Inhalt durch Donnan von neuem herausgegeben. (Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften Nr. 125. Leipzig. Verlag von Wilhelm Engelmann. 1901.)

[2]) W. Nicholson (1753—1815). Description of a new instrument of measuring the specific gravities of bodies. (Mem. Manchest. Soc. II. 1787.)

Konstanz der Winkel hingewiesen, wandte man sich auch mit wachsendem Interesse dem an den Mineralien in die Erscheinung tretenden Formenreichtum zu. Dem französischen Forscher de l'Isle[1]) gelang es, die von Steno nur für einige Fälle nachgewiesene Regel in ihrer vollen Allgemeingültigkeit zu erkennen. Als Meßinstrument bediente er sich hierbei des von seinem Gehilfen[2]) erfundenen Anlegegoniometers (siehe Abb. 65).

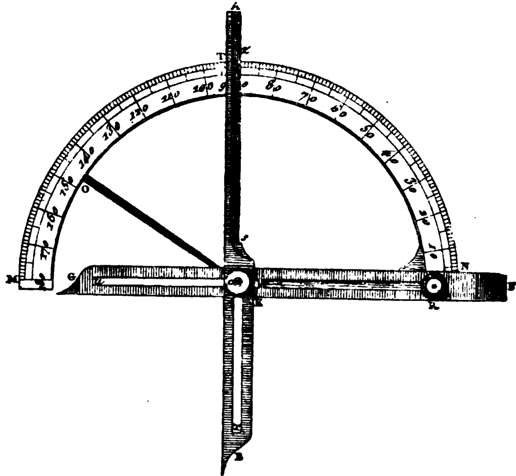


Abb. 65. Das von Romé de l'Isle gebrauchte Anlegegoniometer[3]).
GF und AB sind zwei Lineale, deren Abschnitte GC und BC je nach der Größe des zu messenden Objektes verlängert oder verkürzt werden können. MTN trägt den Gradbogen, AB wird um C gedreht. OC dient zur Stütze des Gradbogens. AB wird gedreht, bis die Schenkel BC und CG den sich schneidenden Krystallflächen genau anliegen. Der Kantenwinkel läßt sich dann auf dem Gradbogen ablesen.

Während man anfangs alle leblosen Körper, welche der Schoß der Erde birgt, unter dem Namen Fossilien vereinigte, gelangte man im Laufe des 18. Jahrhunderts dazu, die Versteinerungen und die Felsarten von den eigentlichen, dem Auge gleichartig erscheinenden Mineralien zu trennen. Von jetzt an treten die Versteinerungslehre und die Geognosie der Mineralogie als selbständige Wissenszweige zur Seite. Mit großem Eifer wendet man sich in allen Kulturländern diesen neu erschlossenen Forschungsgebieten zu und begibt sich an das gründliche Studium von Naturkörpern, denen man bisher neben der Tier- und Pflanzenwelt kaum Beachtung gezollt hatte. An den Universitäten werden neue Lehrstühle errichtet. Gleich den Botanikern und den Zoologen unternehmen jetzt auch Geologen Reisen

1) Romé de l'Isle, 1736—1790. Cristallographie ou description des formes propres à tous les corps du règne minéral. Paris, 1783.

2) Namens Carangeot.

3) Hauy, Traité de Minéralogie. 1801. Bd. V, P. VIII, Fig. 77.

zur Erforschung fremder Länder. Besondere Schulen werden gegründet; so verdanken die Bergakademie in Freiberg und die École des mines zu Paris ihren Ursprung der geschilderten Bewegung. Die erstere der genannten Anstalten gelangte rasch zu europäischer Berühmtheit durch die Tätigkeit eines Mannes, mit dem wir uns zunächst befassen müssen. Es ist dies der Deutsche Werner, der sich um die Kennzeichenlehre und die Geognosie verdient gemacht hat.

Abraham Gottlob Werner wurde am 25. September 1750 in einem kleinen Orte der Oberlausitz geboren. Sein Vater verwaltete ein Eisenhüttenwerk und besaß eine Mineraliensammlung, welche den Knaben in hohem Grade fesselte. Seit dem Jahre 1775 bekleidete Werner ein Lehramt an der Bergakademie zu Freiberg[1]). In den von ihm vertretenen Gebieten nahm er bald eine ähnliche Stellung ein, wie sie um dieselbe Zeit Linné in der Reihe der Botaniker und Zoologen besaß. Beide Männer wirkten vorzugsweise als Lehrer und Systematiker. Sie verstanden es, für ihre Wissenschaft zu begeistern und ihr eine Schar von Anhängern zuzuführen, während die durch eigenes Forschen aufgefundenen Ergebnisse sich in bescheideneren Grenzen hielten. Bei Werner, wie bei Linné entwickelte sich ferner eine gewisse Einseitigkeit, wodurch die weitere Gestaltung der geologischen Wissenschaft infolge des außerordentlichen Ansehens, welches beide Männer genossen, mitunter ungünstig beeinflußt wurde.

Bevor Werner sein System der Geognosie aufstellte, wurden die Grundlagen für das letztere durch den schon genannten Bergmann und durch Füchsel geschaffen. Bergmann war der erste, welcher das Urgebirge (Granit, Gneiß u. s. w.) von dem Flözgebirge unterschied. Das Urgebirge wurde von ihm nämlich als ein chemischer und daher kristallinischer Niederschlag angesehen, während das Flözgebirge sich aus den Trümmern des ersteren durch mechanischen Absatz gebildet haben sollte, ein Gedanke, welchen Werner aufnahm, um ihn zum bleibenden Besitz der geologischen Wissenschaft zu machen.

Von dem zweiten Vorläufer Werners, dem Deutschen Füchsel, rührt die erste scharf ausgeprägte Terminologie her. Von besonderer Wichtigkeit ist die durch ihn erfolgte Aufstellung des Begriffes der Formation. „Jeder einzelne Niederschlag“, sagt

---

1) Ein Jahr vorher war sein Erstlingswerk „Von den äußerlichen Kennzeichen der Fossilien“ erschienen.

Füchsel[1]), „bildet eine Erdschicht oder Bank, aber es gibt gewisse Folgen von Schichten, welche unter gleichen Verhältnissen unmittelbar nacheinander gebildet wurden; solche Reihen bilden zusammen das, was wir eine Formation nennen, und eine solche Formation bezeichnet eine Epoche in der Geschichte der Erde.“ Die einzelnen Formationen kennzeichnete Füchsel durch das Vorhandensein von eigentümlichen Versteinerungen, den Leitfossilien.

Die gleichen Bestrebungen begegnen uns in Frankreich. Dort untersuchte man besonders das Pariser Becken und gelangte zu dem Schlusse, daß dieses einst von Wasser bedeckt gewesen und durch die im Lauf der Zeit zu festem Gestein gewordenen Ablagerungen einmündender Flüsse ausgefüllt worden sei. Die Berge der Auvergne, wie der Puy de Dôme und der Mont Dore, wurden als erloschene Vulkane erkannt, deren Lavaströme und Bimssteinmassen man noch aufzudecken vermochte. Im Jahre 1746 erschien in Frankreich eine geognostische Karte[2]), welche nicht nur den Aufbau dieses Landes, sondern auch denjenigen Englands und Deutschlands zur Darstellung brachte.

In dem Maße, wie die Kenntnis der Gesteins- oder Gebirgsarten wuchs, nahm die bei ihrer Anordnung und Benennung einreißende Verwirrung zu. Diesem Zustande machte Werners erstes systematisches Lehrbuch der Geognosie ein Ende. Es erschien im Jahre 1787 und führt den Titel: „Kurze Klassifikation und Beschreibung der verschiedenen Gebirgsarten.“ Obgleich durch verschiedenartige Zusammenstellung der Mineralien, von denen schon Werner über 200 kannte, sich eine unbegrenzte Zahl von Mischungen ergeben würde, fand sich, daß die Verschiedenheit der Gebirgsarten durchaus nicht ins Unendliche geht und daß die meisten sehr ausgezeichnet und leicht bestimmbar sind. „Es ist wahrscheinlich“, sagt Werner, „daß wir den größten Teil der Gebirgsarten schon kennen, da diejenigen der entferntesten Länder insgemein mit den uns bekannten übereinstimmen[3]).“ Sämtliche Arten werden sodann in vier Gruppen eingeteilt, welche er als die uranfänglichen, die Flözgebirge, die vulkanischen und die aufgeschwemmten Gebirgsarten unterscheidet.

Zu der ersten Gruppe werden Granit, Gneiß und Glimmerschiefer, irrtümlicherweise aber auch Porphyr und Basalt gerechnet,

---

1) Nach Hoffmanns Geschichte der Geognosie. Berlin 1838. Seite 56.
2) Herrührend von Guettard (1715—1786).
3) Werner, a. a. O. Einleitung.

für welche, später als echt vulkanisch erkannten Bildungen, Werner die Entstehung auf nassem Wege in Anspruch nahm. „Uranfänglich" nennt Werner diese Gesteine, weil sie gleichsam den Kern der Gebirge vorstellen und sich in das Innere der Erde erstrecken. Auch der Mangel an Versteinerungen ist ihm charakteristisch für diese Bildungen.

Als Flözgebirge bezeichnet Werner Kalkstein, Sandstein, Grauwacke, Steinkohle, Steinsalz und Gips. Es ist ihm sogar wahrscheinlich, daß sie aus Gliedern der ersten Gruppe hervorgegangen sind. Eigentümlich ist ihm für das Flözgebirge das Vorhandensein von Versteinerungen, sowie die Erscheinung, daß diese Gesteine meist innerhalb desselben Gebirgsstockes in Lagen miteinander wechseln, während ein uranfängliches Gestein an dem Aufbau eines Gebirges in der Regel ausschließlich oder auf weite Erstreckung beteiligt ist.

Die Anschauungen, welche Werner über die Natur und den Ursprung der vulkanischen Gesteine entwickelte, haben dem Fortschritt der geologischen Wissenschaft gegenüber keinen Stand halten können. Nach einem hartnäckigen Kampfe ist Werners neptunistisches System, das nur die Erzeugnisse tätiger Vulkane als eruptiv gelten lassen wollte, schließlich unterlegen[1]).

Die Verwitterungsprodukte der genannten Gesteine endlich bezeichnet Werner als aufgeschwemmtes Gebirge, das entweder als Seifen aus Kiesel und Sand die Täler füllt oder die alles bedeckende Schicht des niedrigen Landes bildet.

Sollte das Studium der Gebirgsglieder Licht über die Entwicklungsgeschichte der Erde verbreiten, so mußte die Aufmerksamkeit sich in steigendem Maße den Einschlüssen der Gesteine, den Versteinerungen, zuwenden. Die alte, verbreitete Meinung, man habe es in diesen Körpern mit Naturspielen oder mit den Überresten der Sündflut zu tun, wich allmählich der Erkenntnis, daß die Fossilien Zeugnis von vergangenen Tier- und Pflanzenschöpfungen ablegen. So entstand die Paläontologie, welche, vereint mit der gleichfalls im 18. Jahrhundert sich entwickelnden Geognosie, die Grundlage für die geologische Wissenschaft des

---

[1]) Der englische Geologe James Hutton (1726—1797) begründete die Lehre, daß Granit, Basalt und Porphyr feurig flüssigen Ursprungs, indes im Innern der Erde unter hohem Druck kristallinisch erstarrte Massen seien (Plutonismus, Plutonische Gesteine). J. Hutton, Theory of the earth, 1788. Ein Auszug in deutscher Übersetzung erschien im 6. Bde. v. Voigts Magazin der Physik v. J. 1889.

19. Jahrhunderts bilden sollte. Durch die Höhlenforschung lernte man die Knochen zahlreicher ausgestorbener Säugetiere kennen. Seit dem Jahre 1725 datiert die Bekanntschaft der Paläontologen mit dem Skelett des Mammuts, welches Geschöpf Pallas später vollständig erhalten im Eise Sibiriens auffand[1]). Durch die Untersuchung des Pariser Gipses wurde man auch mit fossilen Vögeln bekannt. Die versteinerten Stachelhäuter und Weichtiere werden eingehend bearbeitet. Es entstehen Schriften über die fossilen Pflanzen[2]), und im Jahre 1755 erscheint in Deutschland ein größeres systematisches Werk paläontologischen Inhalts, das sich den großen naturhistorischen Werken der Botaniker und Zoologen dieses, sowie des verflossenen Zeitraums als ebenbürtig zur Seite stellen kann[3]).

Die auf älterer Grundlage beruhenden Wissenschaften, welche von den Lebewesen handeln, blieben den soeben erwähnten, neu entstandenen Zweigen gegenüber während des auf dem Gebiete des Systematisierens so eifrigen 18. Jahrhunderts nicht zurück. Ihre Hauptaufgabe erblickten die Zoologie und die Botanik indes immer noch in einer auf das Äußere gerichteten Beschreibung und in der Anordnung der Tiere und Pflanzen, wenn sich auch die Ansätze zur Untersuchung des inneren Baues und der Verrichtungen der Organe stetig mehrten. Durch das genauere Studium der Pflanzen- und der Tierwelt Europas, sowie der übrigen Weltteile war das Material, welches der Systematik zu Gebote stand, schon zu Beginn des 18. Jahrhunderts ein kaum noch zu bewältigendes geworden. Die Bearbeitung dieses Materials wurde immer schwieriger, weil eine klare, auf scharfer Gliederung beruhende Nomenklatur noch nicht geschaffen war und die bisherigen Versuche zur Aufstellung eines umfassenden Systems sich stets als unzureichend erwiesen hatten. Der Mann, welcher zur rechten Zeit erschien und nach den beiden angegebenen Richtungen Abhilfe schuf, war der schwedische Naturforscher Linné, mit dessen Lebensgang und Leistungen wir uns jetzt zu befassen haben.

Karl von Linné wurde am 2. (13.) Mai des Jahres 1707 in dem Dorfe Råshult in Småland geboren. Sein Vater war dort Pfarrer und besaß für Gartenbau und Pflanzenkunde eine große

1) Siehe Bd. I, Seite 282.

2) Scheuchzer, Herbarium diluvianum. 1721.

3) Knorrs mit 300 vortrefflichen Kupfertafeln versehenes Werk vom Jahre 1755, welches unter dem Titel „Sammlung von Merkwürdigkeiten der Natur und Altertümer des Erdbodens“ zu Nürnberg erschien.

Liebhaberei, welche sich auf den Sohn übertrug. Als dieser in einem benachbarten Städtchen die Schule besuchte, trieb er sich, anstatt seinen nächstliegenden Pflichten nachzukommen, botanisierend umher, so daß der Vater schließlich erzürnte und ihn einem Schuhmacher in die Lehre gab. Ein befreundeter Arzt, der Linnés botanische Neigungen unterstützte, vermochte jedoch den Vater zu versöhnen. Linné erhielt die Erlaubnis, sich dem Studium der Medizin zu widmen, und bezog die Universität Lund, welche er später mit Upsala vertauschte. Da Linné in ärmlichen Verhältnissen lebte, war er gezwungen, seinen Unterhalt durch Abschreiben und Erteilung von Unterricht zu verdienen. In Upsala nahm sich schließlich der Professor der Botanik Rudbeck seiner an. Er übertrug ihm die Aufsicht über den botanischen Garten, sowie die Stellvertretung bei seinen Vorlesungen. Im Jahre 1732 erhielt Linné den ehrenvollen Auftrag, Lappland, die nördlichste Provinz von Schweden, zu durchforschen. Nachdem er von dieser während des Sommers 1732 unternommenen naturwissenschaftlichen Expedition zurückgekehrt war, beabsichtigte er, in Upsala Vorlesungen über Botanik zu halten. Eifersüchtige Nebenbuhler wußten indes sein Vorhaben durch den Einspruch, daß er noch nicht promoviert sei, zu verhindern. Da es damals Brauch war, den Doktorhut im Auslande zu erwerben, ging Linné zu diesem Zwecke im Jahre 1735 nach Holland. Dort wurde er mit Clifford bekannt, welcher in Harlem einen Garten unterhielt und Linnés Rat und Hülfe in botanischen Dingen wohl zu schätzen wußte. In Holland gab Linné im Jahre 1735 neben einem größeren Werk über den Cliffordschen Garten eine kleine, in Tabellenform verfaßte Schrift heraus, welche er „Systema naturae" nannte. Dieses Büchlein, das die Früchte seiner bisherigen, sich über alle drei Naturreiche erstreckenden Bemühungen um die Systematik enthielt, wurde später wiederholt von neuem aufgelegt und wuchs dabei zu einem mehrbändigen Werke an[1]).

Nachdem Linné von Holland aus Reisen nach England und

[1]) Systema naturae. 1. Ausgabe von 1735 sehr selten und nur 14 Seiten umfassend. 12. Ausgabe von Müller. 8 Bde. 13. Ausgabe von Gmelin. 10 Bde. Leipzig 1788—1793. Die 13. Ausgabe ist das letzte Werk, welches alle zur Zeit seiner Herausgabe bekannten Tier- und Pflanzenarten beschreibt. Leunis nennt es eine voluminöse Kompilation, nur wichtig als Verzeichnis dessen, was bis 1793 bekannt geworden. Ein Neudruck vom I. Bande (Tierreich) der 10. Ausgabe wurde von der Deutschen zoologischen Gesellschaft veranstaltet und erschien 1894 bei Wilhelm Engelmann in Leipzig.

Frankreich unternommen hatte — in Paris ernannte man ihn zum korrespondierenden Mitgliede der Akademie der Wissenschaften — kehrte er nach Stockholm zurück. Hier nahm man ihn mit großen Ehrenbezeugungen auf. Linné, der sich zunächst dem ärztlichen Beruf zuwandte, wurde Leibarzt des Königs und Präsident der Akademie der Wissenschaften. Im Jahre 1741 siedelte er nach dem nahen Upsala über. Während der beiden Jahrzehnte, welche Linné dort als anregender Lehrer und unermüdlicher Forscher zubrachte, erlebte die Naturgeschichte ihre Glanzperiode. Der botanische Garten wurde in seinem Geiste erneuert und mit einem naturhistorischen Museum verbunden. Im Jahre 1746 gab Linné ein Werk über die Tierwelt Schwedens heraus, einige Jahre später erschien seine allgemeine Botanik[1]), das botanische Hauptwerk Linnés. 1762 wurde er in den Adelstand erhoben. Erst seit dieser Zeit nannte er sich von Linné, während sein Name ursprünglich Linnaeus lautete. Er starb am 10. Januar 1778.

Linnés Verdienst bestand nicht in epochemachenden Entdeckungen, welche späteren Geschlechtern unmittelbar die Anregung zu weiterem Forschen gegeben hätten, sondern er erblickte seine Aufgabe ausschließlich in der systematischen Bearbeitung des gesamten, von seinen Vorgängern übermittelten naturgeschichtlichen Wissens. Hierin hat er Bedeutendes geleistet und sich einer Mühe unterzogen, deren Bewältigung im Interesse des weiteren Fortschritts lag. Daß seine Nachfolger das System überschätzten und die Einordnung der neu beschriebenen Formen in dasselbe für die hauptsächlichste Aufgabe der Wissenschaft hielten, darf man dem Begründer dieses Systems nicht zur Last legen.

In der Botanik brachte Linné die seit Caesalpin auf die Aufstellung eines künstlichen Systems gerichteten Bestrebungen zum Abschluß. Die Kenntnis von der Sexualität der Pflanzen, auf welcher seine Einteilung fußte[2]), verdankte er jedoch vor allem den Untersuchungen des Deutschen Camerarius[3]), wie auch seine Nomenklatur auf den Einfluß eines Deutschen zurückzuführen ist[4]). Linné selbst war dem physiologischen Experiment, sowie der Anwendung des Mikroskops wenig zugetan. Seine Art, etwas durch logisches Zergliedern klar zu stellen, ohne die Natur selbst

1) Linné, Philosophia botanica.

2) Siehe Bd. I, Seite 130.

3) Siehe Seite 231 ds. Bds.

4) Jungius (1587—1657), Rektor des Hamburger Johanneums, in seiner Isagoge phytoscopica.

hinreichend zu befragen, erinnert häufig an Aristoteles. Daß sein Pflanzensystem in erster Linie auf die Erfüllung eines praktischen Bedürfnisses hinauslief und keine naturgemäße Gruppierung ergab, wußte Linné sehr wohl, während es seine Nachbeter später gänzlich vergessen zu haben schienen und in dem von Linné geschaffenen System die Krönung des naturgeschichtlichen Lehrgebäudes erblickten. Linné selbst hat ein Verzeichnis derjenigen Gruppen gegeben, die er als natürliche betrachtete. Der erste Versuch, von der Erfassung solcher Gruppen zur systematischen Gliederung des gesamten Pflanzenreiches zu gelangen, ging von den Franzosen aus. Die schwedischen, deutschen und englischen Botaniker dagegen verfolgten die von Linné eingeschlagene Richtung bis zur Einseitigkeit und suchten ihren Ruhm einzig in der Kenntnis einer möglichst großen Zahl von Arten. Erst mit der Aufstellung des natürlichen Systems durch die beiden Jussieu und Decandolle wurde die Grundlage für den weiteren Fortschritt geschaffen.

Wie auf dem botanischen, so war auch auf zoologischem Gebiete Linnés Wirken fast ausschließlich nach der beschreibenden und systematischen Seite gerichtet. Sein Tiersystem entsprach indes weit mehr der natürlichen Verwandtschaft, als dies hinsichtlich seiner Gruppierung der Pflanzen der Fall war. Die Einteilung der niederen Tiere, deren innerer Bau erst in der nächsten Periode eingehender studiert wurde, fußte jedoch noch auf ganz oberflächlichen Ähnlichkeiten. Das gesamte Tierreich zerfiel nach Linné in 6 Klassen, von denen nur diejenigen der Säugetiere und der Vögel ihren Wert und Umfang auch heute noch besitzen. Die Amphibien wurden noch mit den Reptilien zu einer Gruppe vereinigt. Die vierte Klasse umfaßte die Fische. Die Insekten bildeten die fünfte Klasse und zerfielen in die noch heute geltenden Ordnungen, während die letzte Klasse der Würmer alles das umfaßte, was Linné anderweitig nicht unterzubringen vermochte. Hier finden wir z. B. die Weichtiere mit den Aufgußtierchen und die Eingeweidewürmer mit den Pflanzentieren vereinigt. Über die animalische Natur der letzteren[1]) ist Linné noch nicht völlig im klaren. Er bezeichnet sie als Pflanzen mit tierisch belebten Blüten.

Mancher Widerspruch erhob sich gegen seinen Schritt, den Menschen als besondere Gattung an die Spitze des Systems zu stellen und mit ihm körperlich nahe stehenden Tieren zur Ordnung

---

1) Siehe S. 295 ds. Bds.

der Primaten zu vereinen. Man muß jedoch anerkennen, daß dieser Schritt die Naturgeschichte des Menschen als besonderen Wissenszweig angebahnt hat, so daß Blumenbach, als er die neuere Anthropologie begründete, nur der Auffassung Linnés zu folgen brauchte.

Von besonderer Wichtigkeit für die Systematik war die von Linné herrührende strenge Durchführung der binären Nomenklatur. Anstatt weitschweifiger Definitionen, welche man bis dahin neu entdeckten Formen beilegte, erhielt jede Art zwei der lateinischen Sprache entnommene Namen, von denen der erste die Zugehörigkeit zu einer bestimmten Gattung, der zweite dagegen, meist in Form eines Eigenschaftsworts hinzutretend, die Art bezeichnete. Letztere erschien Linné als der durchaus unveränderliche Ausgangspunkt seines Systems. „Tot numeramus species, quot creavit ab initio infinitum ens“ lautet sein bekannter Ausspruch, „wir zählen soviel Arten, wie Gott im Anbeginn erschaffen hat“. Diese Ansicht, welche die Beziehungen im anatomischen Bau der Lebewesen völlig unerklärt läßt und die Worte Verwandtschaft und Zusammengehörigkeit nur im bildlichen Sinne anzuwenden gestattet, erstarkte in der Folge zu einem Dogma, das nicht nur die Lehre von den heute lebenden Formen, sondern auch die Paläontologie bis zum Beginn des 19. Jahrhunderts vollständig beherrschte und erst in der zweiten Hälfte des letzteren zu Fall gebracht wurde[1]).

Linnés Bemühen, alles zu systematisieren, erstreckte sich auch auf das Mineralreich. Da er jedoch auch hier in erster Linie die äußere Beschaffenheit ins Auge faßte — er suchte die Mineralien nach ihrer Gestalt zu ordnen — so war der Erfolg nur gering. Eigentümliche Ansichten, die sich später als zum Teil begründet erwiesen, entwickelte Linné in seiner Abhandlung über das Anwachsen der Erde[2]). Danach bildeten sich die Schichten nicht aus zerriebenem Urgestein, sondern sie sind Erzeugnisse der Lebewelt. Das Kalkgebirge ist nach Linné aus Muscheln und Korallen entstanden, während die Pflanzen tonige Ablagerungen, die später zu Schiefer erstarrten, gebildet haben sollten.

Wenn auch auf dem Gebiete der Botanik während des 18. Jahrhunderts die systematische Richtung überwog, so fällt doch in diesen Zeitraum die Begründung einiger wichtigen Zweige der

---

1) Siehe Lamarck, Lyell und Darwin.

2) Oratio de telluris habitabilis incremento.

Pflanzenphysiologie, um deren weiteren Ausbau man sich dann allerdings zunächst so wenig kümmerte wie um die Fortsetzung der pflanzenanatomischen Arbeiten eines Grew und Malpighi. Es sind dies die Arbeiten von Hales über die Saftbewegung und die Aufdeckung der Beziehungen zwischen Blumen und Insekten durch Konrad Sprengel, dessen Forschungen sogar erst in der neuesten Zeit, seit Darwin demselben Gegenstande seine Aufmerksamkeit zuwandte, zur vollen Würdigung gelangt sind.

Stephan Hales wurde am 17. September 1677 in der Nähe von Kent geboren und studierte in Cambridge Theologie. Gleichzeitig betrieb er mit großer Vorliebe Mathematik und Naturwissenschaften. Die freie Zeit, welche ihm sein Pfarramt übrig ließ, verwandte er auf die Verwirklichung eines hohen Zieles, der Ausdehnung der physikalischen Forschungs- und Betrachtungsweise nämlich auf das Gebiet der Lebensvorgänge. Im Jahre 1718 erwarb Hales die Mitgliedschaft der Royal Society; er starb am 4. Januar 1761.

In seinem Hauptwerke, der Statik der Gewächse, mit dem der Leser bereits durch den I. Band bekannt geworden ist[1]), versuchte Hales, auf Grund der bis dahin gewonnenen physikalischen und chemischen Kenntnisse, durch Versuche eine Einsicht in den Lebensprozeß der Pflanze zu gewinnen. Harveys Entdeckung des Blutkreislaufs hatte die Frage angeregt, ob im Pflanzenkörper ein entsprechender Vorgang stattfinde. Diese Frage ist es, welche Hales in erster Linie zu entscheiden sucht und auf welche sich auch die im I. Bande dieses Grundrisses mitgeteilten Experimente beziehen. Wie in der Physiologie des Tieres die Flüssigkeiten, deren Geschwindigkeiten, die Kräfte, welche auf sie wirken, sowie die Menge trockner und flüssiger Nahrung, welche der Organismus zu seinem Unterhalt bedarf, die größte Rolle spielen, so erhält, wie Hales des näheren ausführt, die Mechanik auch das Leben der Pflanzen und bringt deren Wachstum zuwege. Die Ähnlichkeit zwischen Pflanzen und Tieren sei so groß, daß, wenn man beide nach gleicher Methode untersuche, wichtige Entdeckungen zu erhoffen seien.

Das Verfahren, welches Hales empfiehlt und zum erstenmal auf das Studium der Pflanzen anwendet, besteht im Zählen, Messen und Wägen. Der Einfluß der Physik war es, der sich auf immer weitere Gebiete zu erstrecken begann. „Durch Zählen und Messen“,

---

1) Siehe Bd. I ds. Grdr., Abschnitt 22.

sagt Hales in seiner Einleitung[1]), „hat der große Newton die Regeln, nach denen die Gestirne ihren Umlauf nehmen, zu bestimmen vermocht. Der allweise Schöpfer hat sich nämlich eine Richtschnur gesetzt, alles nach Zahl, Maß und Gewicht zu erschaffen. Damit nun auch wir seine Werke ergründen können, kommt es auf Zählen, Messen und Wägen an. Man geht dadurch den vernünftigsten und sichersten Weg. Und der so ungemein große Erfolg, wodurch dieses Verfahren sich Ruhm erworben hat, muß uns anreizen, es solchergestalt anzufangen."

Die ersten Untersuchungen, denen wir uns jetzt zuwenden, um zu sehen, wie Hales das ausführt, was er verspricht, beschäftigen sich mit der Feststellung der Flüssigkeitsmenge, die von den Pflanzen aus dem Boden aufgenommen und durch die Blätter wieder abgedunstet wird. Eine 3½ Fuß hohe Sonnenblume wird in einen Topf gepflanzt, welcher durch eine Bleiplatte nach Möglichkeit gegen Verdunstung geschützt ist. Durch diese Platte führt ein Rohr, das zum Nachfüllen von Wasser dient. Der infolge der Transpiration eintretende Gewichtsverlust betrug für die zwölf Stunden von morgens bis abends an heißen Tagen 1 Pfund 14 Unzen, während der Verlust desselben Topfes, nachdem die Pflanze abgeschnitten und der Stumpf verklebt war, unter im übrigen gleichen Umständen nur zwei Unzen[2]) betrug. In einer warmen, trockenen Nacht betrug die Ausdünstung der Sonnenblume drei Unzen; wenn Tau auftrat, unterblieb sie ganz.

Hales stellte sich nun die Aufgabe, die gesamte oberhalb und unterhalb des Bodens befindliche Fläche der Sonnenblume zu messen. Zunächst wurden sämtliche Blätter abgeschnitten und der Größe nach in fünf Gruppen geordnet. Sodann wurde ein Drahtnetz mit Maschen von bekannter Größe auf die jedem Haufen entnommenen Blätter gelegt und durch Abzählen der deckenden Maschen die Oberfläche bestimmt. Auf diese Weise fand Hales die Gesamtgröße der abdunstenden Fläche gleich 5616 Quadratzoll, während er die Oberfläche der Wurzeln zu 2286 Quadratzoll und deren Gesamtlänge zu 1448 Fuß ermittelte. Da die innerhalb zwölf Stunden durch den Stamm gehende Flüssigkeitsmenge 34 Kubikzoll betrug und der Stamm einen Quadratzoll Querschnitt besaß, so ergab dies unter der Annahme, daß der Stamm sich wie ein hohles Rohr verhält, für den aufsteigenden Saft eine Geschwindigkeit

[1]) Hales, Statik der Gewächse. Halle 1748. Das Original erschien in London 1727.

[2]) 1 Pfund = 16 Unzen.

von 34 Zoll. Zog man jedoch den Raum, welchen die feste Materie des Stammes einnahm, mit in Betracht, so erhöhte sich dieser Wert auf 45 Zoll. Hales fand, daß der immergrüne Zitronenbaum viel weniger transpiriert als die Sonnenblume, der Weinstock und andere Pflanzen, die ihre Blätter im Winter verlieren. Spätere Versuche, welche sich auf zwölf immergrüne Bäume erstreckten, bestätigten die am Zitronenbaum gemachte Erfahrung[1]).

Von besonderem Interesse ist es nun, daß Hales das Ergebnis seiner mit den Pflanzen angestellten Versuche fortgesetzt mit den an Tieren und Menschen gemachten Beobachtungen vergleicht. So ergeben die Berechnungen, welche er an seine Arbeit über die Transpiration der Sonnenblume anknüpft, daß diese Pflanze in derselben Zeit unter Berücksichtigung des Körpergewichts 17 mal so viel Flüssigkeit aufnimmt und abgibt wie der Mensch. Diesen Unterschied sieht Hales mit Recht darin begründet, daß die Flüssigkeit, welche die Pflanzen aus dem Boden einsaugen, nicht soviel Nährsubstanz enthält wie der Saft, der aus dem Verdauungskanal des Tieres in den Körper übergeht[2]).



Abb. 66. Der Wurzel Ziehen oder Saugen (Hales, Statik der Gewächse, Tab. III, Fig. X).

Da die Bewegung des Pflanzensaftes nicht wie bei den Tieren durch ein besonderes Triebwerk hervorgerufen wird und, wie Hales vermutet, nur nach einer Richtung vor sich geht, jedenfalls aber nicht in einem Kreislauf innerhalb der Gefäße besteht, so sucht er zunächst die Kraft ausfindig zu machen, durch welche die Pflanzen Flüssigkeiten in sich ziehen. Neben einem vollbeblätterten Baum wird eine Grube hergestellt und ein kräftiger Wurzelast, nachdem man ihn abgeschnitten und mit einer Röhre versehen, in ein mit Quecksilber gefülltes Becken getaucht (siehe Abb. 66). Die Wurzel

1) Hales, Statik, I. Hauptstück, 5. Erfahrung.

2) Hales, Statik der Gewächse, Seite 6. I. Hauptstück, 1. Erfahrung.

zieht alsdann mit solcher Kraft, daß das Quecksilber in der Röhre bis zu einer beträchtlichen Höhe emporsteigt[1]). Dieselbe Wirkung äußerte ein transpirierender Ast, wenn man das mit seinem abgeschnittenen Ende verbundene Rohr in Quecksilber tauchte. Den Vorgang selbst sucht Hales aus dem Zusammenwirken von Verdunstung und Kapillarität zu erklären. Die hier in Betracht kommenden Erscheinungen bergen indes selbst für die heutige Pflanzenphysiologie noch manches Rätsel. Hales schließt seine Untersuchung des Gegenstandes mit den Worten: „Die Pflanzen ziehen durch ihre kleinen Haarröhrchen die Feuchtigkeit so stark an, wie wir es gesehen haben. Diese Feuchtigkeit verfliegt nun durch die Transpiration, welche bewirkt, daß die Saftgefäße leer werden und infolgedessen neue Nahrung an sich ziehen.“ Seine Ansicht, daß es sich bei diesem Vorgang nur um physikalische Kräfte handele, suchte er durch Versuche mit anorganischen, porösen Substanzen zu unterstützen. So wurde z. B. eine lange Glasröhre mit Mennige gefüllt und in derselben Weise wie die Wurzel mit Wasser und Quecksilber in Verbindung gesetzt. Auch in diesem Falle stieg nicht nur das Wasser in die poröse Masse empor, sondern das Quecksilber folgte bis zu einer Höhe von 8 Zoll. Nachdem man später die Kapillarität als unzureichend erkannt hatte, um das Wasser zu nennenswerter Höhe emporzuheben, hat man den Sitz der anziehenden Kräfte wohl in die Zellwand oder in den Zellinhalt verlegt, ohne daß bisher eine nach jeder Richtung befriedigende Erklärung des in Frage stehenden Vorgangs gelungen wäre.

Die meisterhaften Untersuchungen eines Hales haben auch für die Erklärung einer zweiten Reihe von Erscheinungen Grundlagen geschaffen, auf denen die Pflanzenphysiologie noch heute fußt. Es sind dies die unter dem Namen des Blutens oder Tränens bekannten Vorgänge, deren experimentelle Erforschung der Leser durch die im I. Bande wiedergegebenen Abschnitte[2]) kennen gelernt hat. Vermittelst einer Art Quecksilbermanometer (siehe Bd. I, Fig. 24) weist Hales z. B. nach, daß der Druck der aus einer blutenden Rebe[3]) tretenden Flüssigkeit die beträchtliche Höhe von

---

1) Hales, Statik der Gewächse, Seite 49. II. Hauptstück. 21. Erfahrung.

2) Siehe Bd. I, Abschnitt 22.

3) Das Bluten der Rebe wurde in neuerer Zeit von Ernst Brücke in meisterhafter Weise wieder untersucht. Siehe Brückes Abhandlung in Ostwalds „Klassiker der exakten Wissenschaften“ Nr. 95. Leipzig, Verlag von W. Engelmann. 1898.

$1\frac{1}{2}$ Atmosphären erreicht und fünfmal so groß ist wie der nach ähnlich ausgeführten Messungen in der Pulsader eines Pferdes vorhandene Druck des Blutes. Die Ansicht, daß in der Pflanze ein Kreislauf der Flüssigkeit wie in dem Gefäßsystem der Tiere stattfinde, widerlegt Hales durch weitere Versuche. So bringt er an transpirierenden Pflanzen oder Ästen geeignete Einschnitte übereinander an, welche sämtlich bis zum Marke gehen und nach den vier Himmelsgegenden gerichtet sind. Obgleich auf solche Weise dem Safte wiederholt der gerade Weg benommen war[1]), ging dennoch eine erhebliche Menge Feuchtigkeit durch den transpirierenden Ast hindurch. Auch wurde die obere Fläche der Einschnitte nicht etwa feucht, was doch bei einem Kreislauf des Saftes hätte eintreten müssen.

Neben dem Bodenwasser schreibt Hales auch der Luft eine wichtige Rolle bei der Ernährung der Pflanzen zu. Er ist jedoch noch nicht im stande, die Gasarten zu unterscheiden; vielmehr ist für ihn jeder elastisch flüssige Stoff, sei es, daß er durch trockene Destillation, durch Gärung oder bei der chemischen Auflösung entsteht, Luft, welche durch verschiedenartige Beimengungen verunreinigt ist. Schon früher hatte man bemerkt, daß Pflanzenteile, welche unter einer mit Wasser gefüllten Glocke längere Zeit belassen werden, eine bedeutende Menge Gas entwickeln. Hieraus schloß nun Hales, daß die Luft an der Zusammensetzung der Pflanzen teilnimmt und als wichtiges Nahrungsmittel aus der Atmosphäre aufgenommen wird. Daß sie das Holz durchdringt, weist er vermittelst der Luftpumpe nach, auch erwähnt er die von Grew beschriebenen Dunstlöcher (Spaltöffnungen) und ihre Ähnlichkeit mit den Schweißporen. Durch diese Dunstlöcher dringe die Luft in den Stamm und die Blätter ein.

Um die Gasmenge zu bestimmen, welche die Pflanzen bei ihrer Zersetzung von sich geben, bediente sich Hales gläserner Glocken, welche mit Wasser gefüllt und in größeren Behältern umgestülpt wurden (siehe Abb. 67)[2]). Diese unter dem Namen der pneumatischen Wanne bekannte Vorrichtung hat in der Folge das Studium der Gasarten außerordentlich gefördert. Bei der trockenen Destillation von 398 Gran Erbsen erhielt Hales 396 Kubikzoll Gas, welches sich an einem Licht entzündete. In einem zweiten Versuch gab ein halber Kubikzoll oder 135 Gran von dem Holz

---

1) Siehe Hales, Statik, Seite 76.

2) Hales, Statik der Gewächse, Tafel IX, Figur XXXVIII.

einer Eiche 128 Kubikzoll. Die entstandene Luft nahm also einen bedeutend größeren Raum ein und hatte sich aus einem Viertel des angewandten Holzes gebildet, da der Rückstand etwa drei Viertel des ursprünglichen Gewichtes betrug[1]).

Interessant ist nun, wie Hales seine, wenn auch noch unvollkommene Erkenntnis, daß die Luft in die Bildung des Pflanzenkörpers eingeht und dabei ihre Elastizität verliert, durch das Studium chemischer Vorgänge zu erläutern und zu unterstützen sucht. So begegnet uns bei ihm schon jener für die spätere Analyse der Atmosphäre so überaus wichtige Versuch, daß Phosphor in einer abgeschlossenen Luftmenge verbrannt und eine dabei eintretende Raumverminderung nachgewiesen wird. Von diesem Versuche und den ähnlichen Versuchen Guerickes[2]) bis zur Beachtung der Tatsache, daß die von dem Phosphor gebundene Luft zu der übrig bleibenden Luftmenge stets in einem bestimmten Verhältnis steht, die Luft also aus zwei Gemengteilen zusammengesetzt ist, war nur noch ein Schritt. Auch daß die Mennige bei ihrer Bildung Luft verschlucke, die sich mit dem Blei vereinige und zur Schwere der Mennige beitrage, führt Hales als Beispiel an. Ja, er erzeugt diese Luft auch durch Erhitzen in seiner Retorte wieder, stellt also schon denselben Versuch an, der Priestley später zur Entdeckung des Sauerstoffs und Lavoisier zur richtigen Deutung des Verbrennungsprozesses führte. Hales besaß somit, wie Black und andere Zeitgenossen, schon die experimentelle Grundlage für diese Deutung. Dennoch konnte man sich von den älteren Vorstellungen

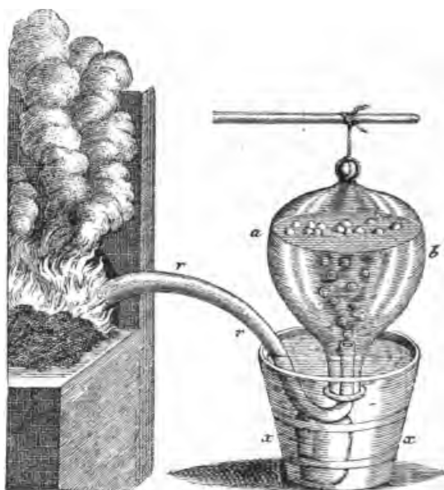


Abb. 67. Hales' Versuche über die trockne Destillation mit Benutzung der pneumatischen Wanne.

1) Hales, Statik, Seite 102 und 103. VI. Hauptstück, 55. und 57. Erfahrung.

2) Siehe Seite 185 ds. Bds.

nicht frei machen. Das Verschwinden der Luft war für Hales nicht so wesentlich wie die vermeintliche Aufnahme aus dem Feuer herrührender Teilchen. Wie sehr er indes von der Bedeutung derartiger chemischen Untersuchungen durchdrungen war, ersehen wir aus folgenden Worten, mit denen er seinen Bericht abschließt: „Wenn doch diejenigen, die ihre Zeit und ihr Vermögen damit verschwenden, daß sie, einer leeren Einbildung folgend, alles in Gold verwandeln wollen, an der Erforschung dieser Vorgänge arbeiteten, so würden sie, anstatt Wind zu ernten, die Lorbeeren erlangen, mit denen nützliche Entdeckungen belohnt werden müssen."

Neben diesen Beiträgen zur Begründung der Ernährungsphysiologie zeitigt das 18. Jahrhundert auf botanischem Gebiete auch hervorragende Arbeiten, welche den weiteren Ausbau der von Camerarius geschaffenen Sexualtheorie bezwecken. Es sind dies die auf eine Bastardierung gerichteten Bemühungen Kölreuters, welche das Wesen der pflanzlichen Sexualität in das hellste Licht stellten, und Sprengels Nachweis der wichtigen Rolle, welche die Insekten bei der Befruchtung spielen.

War zur Erzeugung von keimfähigen Samen eine Wirkung des Pollens auf den Stempel erforderlich, die sich auf eine zunächst nicht näher zu erklärende Weise der Samenknospe mitteilt, so mußte sich die Frage erheben, welchen Anteil das männliche und das weibliche Element an dem Zustandekommen eines neuen Pflanzenindividuums besitzen. Da letzteres bei normaler Befruchtung den elterlichen Pflanzen gleicht, so war diese Frage nur durch die Übertragung des Pollens einer Pflanzenart auf die Narbe einer zweiten Art zu entscheiden, wie es schon Camerarius in Vorschlag gebracht hatte. Gelang dieser Versuch, so erwuchs daraus zugleich auch für die Richtigkeit der Sexualtheorie eine neue Bestätigung. Der erste, der auf diesem Wege Erfolg hatte und die Grundlage für alle späteren in der gleichen Richtung sich bewegenden Arbeiten schuf, war der Deutsche Kölreuter[1]).

Die erste Bastardierung gelang Kölreuter im Jahre 1760 an zwei Tabaksarten. „Weil ich schon lange von dem Geschlecht

[1]) Joseph Gottlieb Kölreuter (1733—1806) war Professor der Naturgeschichte in Karlsruhe. Seine Resultate hat er in einer 1761 erschienenen Abhandlung niedergelegt, der von 1763—1766 drei Fortsetzungen folgten. Kölreuters Schriften wurden neuerdings durch W. Pfeffer als 41. Band von Ostwalds Klassikern der exakten Wissenschaften (Leipzig, Verlag von Wilhelm Engelmann 1893) wieder herausgegeben.

der Pflanzen überzeugt war," sagt er[1]), „und an der Möglichkeit einer Bastarderzeugung niemals gezweifelt hatte, so ließ ich mich durch nichts abhalten, Versuche darüber anzustellen, in der Hoffnung, daß ich vielleicht einmal so glücklich sein würde, eine Bastardpflanze zu Wege zu bringen. Ich habe es endlich auch bei der Nicotiana paniculata und der Nicotiana rustica soweit gebracht, daß ich mit dem Pollen der ersteren den Stempel der anderen befruchtet, vollkommene Samen erhalten und aus diesen noch in demselben Jahre junge Pflanzen gezogen habe." Kölreuter bemerkte nun zu seiner größten Genugtuung, daß die letzteren nicht nur in der Ausbreitung ihrer Äste und der Farbe der Blumen, sondern auch bezüglich fast aller zur Blume gehörenden Teile die Mitte zwischen beiden Stammarten innehielten. Dies Ergebnis war mit der im 18. Jahrhundert von vielen gehegten, unter dem Namen der Evolutionslehre bekannten Idee, daß die Embryonen fertig in den weiblichen Organen vorhanden seien und es zu ihrer Belebung nur eines Anstoßes durch den Pollen oder Samen bedürfe, wie auch Kölreuter hervorhebt, ganz unvereinbar. In einem Punkte zeigte der Bastard jedoch ein bemerkenswertes Verhalten. Seine Staubgefäße enthielten nämlich weniger Blütenstaub, und dieser war auch nicht mit Flüssigkeit gefüllt, sondern bestand aus leeren Bälgen, welche eine Befruchtung nicht hervorzurufen vermochten. „Es ist also", ruft Kölreuter aus[2]), „diese Pflanze im eigentlichen Sinne ein wahrer und, soviel mir bekannt, der erste botanische Maulesel, der auf künstlichem Wege hervorgebracht worden ist." Obgleich der Bastardtabak durch seinen eigenen Staub nicht befruchtet werden konnte, gelang es doch, ihn mit dem Pollen seiner Stammarten zu befruchten. Auch vermochte Kölreuter später Bastarde zu züchten, welche ihrerseits wieder keimfähige Samen erzeugten. Die Entdeckung, daß der Pollen nicht nur durch den Wind, sondern auch durch Insekten auf die Narben übertragen wird, während diese Tiere dem in den Blüten enthaltenen Nektar nachgehen, rührt gleichfalls von Kölreuter her. „Bei allen Kürbisgewächsen, Schwertlilien und nicht wenigen Malvenarten", sagt er[3]), „geschieht die Bestäubung allein durch Insekten. Ich erstaunte, als ich diese Entdeckung an einer der genannten Pflanzen machte. Mein Erstaunen verwandelte sich aber bei fortgesetzter

1) Ostwalds Klassiker Nr. 41, Seite 30.
2) Ostwalds Klassiker Nr. 41, Seite 31.
3) Ostwalds Klassiker Nr. 41, Seite 20.

Beobachtung in die Bewunderung eines dem ersten Anschein nach zufälligen, in der Tat aber sichersten Mittels, dessen sich hier der weise Schöpfer bei der Fortpflanzung bedient." Diese Entdeckung weiter verfolgt und im einzelnen den Nachweis des Zusammenwirkens der Tier- und Pflanzenwelt erbracht zu haben, ist das große Verdienst Sprengels.

Christian Konrad Sprengel wurde im Jahre 1750 als der Sohn eines Geistlichen zu Brandenburg a. d. Havel geboren. Nachdem er Theologie und Philologie studiert hatte, wurde er zunächst Lehrer in Berlin und darauf in Spandau (1780) Rektor einer Schule, aus welcher das dortige Gymnasium hervorgegangen ist. Sprengel widmete sich der Botanik mit solchem Eifer, daß ihm schließlich von seiten seiner vorgesetzten Behörde und der Spandauer Bürgerschaft Widerwärtigkeiten erwuchsen. Im Jahre 1794, ein Jahr nach der Herausgabe seines Werkes, schied er daher aus dem Amte. Die zeitgenössischen Botaniker vermochten die Ergebnisse der Arbeiten Sprengels nicht zu würdigen. Einsam, verkannt und verarmt starb dieser am 7. April des Jahres 1816. Sein Werk, sowie sein Name gerieten in Vergessenheit, bis kein geringerer als Darwin, dessen Forschungen auf die Beziehungen zwischen Blumen und Insekten ein neues Licht geworfen haben, wieder auf Sprengel und dessen „eigentümliches Buch mit dem sonderbaren Titel" aufmerksam machte.

Dieses Buch kennt der Leser bereits durch den 39. Abschnitt des I. Bandes[1]), welcher Sprengels wichtigste Ergebnisse in dessen eigener Darstellung zum Ausdruck bringt. Diese Ergebnisse gipfeln in dem Satze, „daß die Befruchtung des Fruchtknotens der Endzweck ist, auf welchen sich der ganze Aufbau der Saftblume bezieht und aus dem er sich völlig erklären läßt[2]). An dieser Stelle möge noch gezeigt werden, wie Sprengel eine der bekanntesten Anpassungen solcher Art im einzelnen aufdeckt. Es handelt sich um die Osterluzzei (Aristolochia Clematitis), eine in Gebirgswäldern häufig vorkommende, protogynische[3]) Pflanze. Sprengel hatte fast jedesmal kleine Fliegen in dem Kessel (Abb. 68, k) der aufrecht stehenden Krone A gefunden, während

[1]) C. K. Sprengel, Das entdeckte Geheimnis der Natur im Bau und in der Befruchtung der Blumen. Berlin 1793. Herausgegeben von Paul Knuth als 48.—51. Bändchen von Ostwalds Klassikern der exakten Wissenschaften. Leipzig, Verlag von Engelmann, 1894.

[2]) Ostwalds Klassiker Nr. 48, Seite 31.

[3]) Siehe Anm. 2 Bd. I, Seite 226.

in dem Kessel einer herabhängenden Krone (B) keine einzige Fliege vorkam. Sprengel glaubte zuerst, daß die Innenwand der Krone glatt sei und die Insekten daher, wenn die Blume sich nach unten kehrt, herausfielen. Als diese Vermutung indes durch eine Probe nicht bestätigt wurde, schnitt er die Krone auf und untersuchte sie genauer. Da sah er, „daß die Röhre der aufrechtstehenden Blume mit steifen fadenförmigen Haaren besetzt ist, welche ungefähr in ihrer Mitte anfangen. Auch waren diese Haare mit ihrer Spitze nicht der Öffnung der Krone, sondern dem Kessel zugekehrt und bildeten eine kleine Reuse, durch welche die Fliegen zwar leicht in den Kessel hinein, aber nicht wieder herauskriechen konnten. Was aber die herabhängende Blume anbetrifft, so waren in ihr diese Fäden verwelkt und zusammengeschrumpft und sahen wie schwarze Punkte aus. Hierdurch war also das Gefängnis geöffnet worden, und die Fliegen hatten nicht gesäumt, sich aus demselben wieder ins Freie zu begeben.“

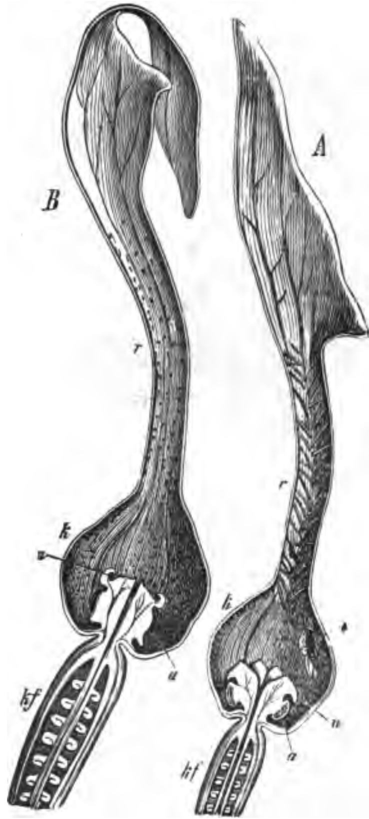


Abb. 68. Blüte der Osterluzzei. A vor und B nach der Bestäubung[1])

Des weiteren führt nun Sprengel aus, daß die Blume drei verschiedene Zustände durchläuft. Nachdem sie nämlich eine bestimmte Größe erlangt und sich geöffnet hat, scheint sie zwar zu blühen, in der Tat aber blüht sie noch nicht, d. h. sie ist noch nicht fähig, befruchtet zu werden, weil weder ein Staubgefäß seine gehörige Reife noch die Narbe ihre völlige Ausbildung erhalten haben. Während dieses Zustandes soll die Blume eine Anzahl Fliegen fangen, von welchen sie im zweiten Stadium befruchtet werden soll. Sobald die Natur diesen Endzweck erreicht hat,

1) Sachs, Lehrbuch der Botanik. 4. Aufl. Leipzig 1874. Fig. 489.

versetzt sie die Blume in den dritten Zustand. Sie kehrt sich nämlich um, die kleine Reuse verschwindet, und die Fliegen erhalten ihre Freiheit wieder. Daß auch bei der Osterluzzei die von ihm für viele Fälle nachgewiesene Fremdbestäubung stattfindet, indem die befreiten, mit dem Pollen bedeckten Insekten die früher als die Staubbeutel sich entfaltende Narbe einer jüngeren Blume bestäuben, hat Sprengel übersehen. Im übrigen war er jedoch der erste, welcher auf die Fremdbestäubung aufmerksam gemacht und die Dichogamie als das sicherste Mittel zu ihrer Erreichung nachgewiesen hat[1]). „Da viele Blumen“, sagt er, „getrennten Geschlechtes und viele Zwitterblumen dichogam sind, so scheint die Natur es nicht haben zu wollen, daß irgend eine Blume durch ihren eigenen Staub befruchtet wird[2]).

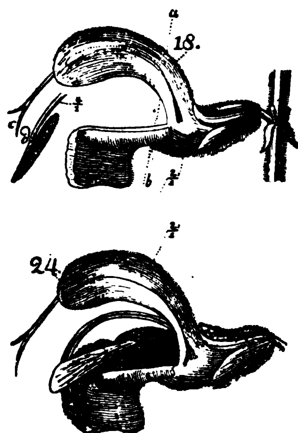


Abb. 69. Sprengels Abbildung der Befruchtung einer Salbeiblüte (Salvia pratensis). 18. Die Blume in natürlicher Stellung. 24. Die Blume wird von einer Hummel besucht, bestäubt und dadurch befruchtet. Dabei wird das Insekt, indem es die Staubgefäße herabdrückt und mit dem Rücken streift, von neuem mit Blütenstaub beladen, den es auf eine andere Narbe bringt[3]).

Von den wunderbaren Einrichtungen, welche Sprengel entdeckte und auf jenen Zweck zurückführte, seien noch diejenigen erwähnt, welche die Blüten der Berberitze, des Wiesensalbeis (siehe Fig. 69) und der Orchideen aufweisen. Eine auf das Dogma von der Konstanz der Arten gegründete Botanik wußte allerdings zu diesen merkwürdigen Ergebnissen keine Stellung zu nehmen und zog es daher vor, sie mit Stillschweigen zu übergehen. Erst als man in der neuesten Zeit dieses Dogma aufgab, wurde das Interesse an blütenbiologischen Untersuchungen, welche der Lehre von der allmählichen Entwicklung der Arten eine wesentliche Stütze verliehen haben, von neuem lebendig.

Auch hinsichtlich der Zoologie muß die Zeit, welche wir zu schildern versuchen, als eine Periode der überwiegenden Systematik

---

1) Siehe Bd. I, Seite 226.

2) Ostwalds Klassiker Nr. 48, Seite 56.

3) Siehe Ostwalds Klassiker Nr. 48, S. 73 u. f.

bezeichnet werden. Doch mehren sich die Bestrebungen, in den Bau, die Lebensweise und die Entwicklung insbesondere der niederen Tiere einzudringen, gleichfalls in erfreulicher Weise. Während z. B. noch die Systematiker des 17. Jahrhunderts, darunter Männer wie Ray[1]), die Korallen für im Meere wachsende Pflanzen hielten, taucht in den zwanziger Jahren des 18. Jahrhunderts zum erstenmal die Ansicht auf, daß die vermeintlichen Blüten der Polypenstöcke Tiere[2]) und die Hartteile, welche Veranlassung zu der Bezeichnung „steinerne Pflanzen" gegeben hatten, deren Absonderungsprodukte seien, eine Ansicht, der die Zoologen jener Zeit mit Spott begegneten.

Ein helles Licht verbreiteten über diesen Gegenstand etwa 20 Jahre später die Arbeiten Trembleys (1710—1784), mit deren Erscheinen K. E. von Baer eine neue Epoche der Physiologie beginnen läßt. Trembley stellte seine Untersuchungen an einem den Korallentieren und Schwämmen nahe verwandten Geschöpf unserer Binnengewässer, dem Süßwasserpolypen, an. Einige der von ihm erhaltenen Ergebnisse, und zwar diejenigen, welche sich auf das außerordentliche Reproduktionsvermögen dieses Tieres beziehen, hat der Leser aus dem 26. Abschnitt des I. Bandes bereits kennen gelernt. In bewunderungswürdiger Weise wurde hier zum erstenmal die experimentelle Forschungsweise auf ein Gebiet ausgedehnt, das sich kaum der deskriptiven Behandlung erschlossen hatte und, wie die verwandten Gebiete, bislang nur der letzteren zugänglich zu sein schien. Ein Forscher der neuesten Zeit, dem der Süßwasserpolyp den Stoff zu einer ausgezeichneten Monographie geboten hat[3]), rühmt von Trembley, daß alle Nachfolger seine Untersuchungen kaum in ihrer Vollständigkeit zu wiederholen, geschweige denn etwas neues hinzuzufügen vermocht hätten. Nur der später erfolgte Nachweis einer geschlechtlichen Fortpflanzung dieser Tiere ist als ein wesentlicher Fortschritt zu betrachten. Trembley hat wohl die Eier und Samen bereitenden Organe wahrgenommen, ohne jedoch ihre Bedeutung zu erkennen. Den Vorgang der Knospung (siehe Bd. I, Fig. 26), hatte bekanntlich schon Leeuwenhoek[4]) am Süßwasserpolypen beobachtet.

---

1) Siehe Bd. I, Seite 242, Anm. 2.

2) Peyssonnel, 1723 auf Grund seiner an den Küsten der Provence und Nordafrikas angestellten Untersuchungen.

3) N. Kleinenberg, Hydra. Eine anatomisch-entwicklungsgeschichtliche Untersuchung. Leipzig, Wilhelm Engelmann, 1872.

4) Siehe Seite 239 ds. Bds.

Das gleichfalls von Leeuwenhoek in der vorigen Periode erschlossene Gebiet der mikroskopischen Durchforschung von Aufgüssen oder „Infusionen“, wie er sie nannte, wurde während des 18. Jahrhunderts mehr von Liebhabern der Mikroskopie, welche daran ihr „Gemüt ergötzen“ wollten, als von eigentlichen Zoologen angebaut. Trotzdem wurde hierdurch die Formenkenntnis, sowie das Wissen von dem Leben der niederen Tiere außerordentlich bereichert. So entstanden die im Jahre 1760 erschienenen „Mikroskopischen Gemüts- und Augenergötzungen“ Ledermüllers[1]), ein reichillustriertes Werk, welches sich gleich den „Arcana naturae“ Leeuwenhoeks, ohne ein bestimmtes Ziel ins Auge zu fassen, allem zuwendet, was die Wißbegierde des dilettantischen Mikroskopikers reizt. Dennoch birgt Ledermüllers Buch die Kunde von mancher wichtigen Entdeckung. In buntem Wechsel führen uns seine Tafeln Schimmelbildungen, Krystallisationen, Kleisterälchen, Haare, Schweißporen, Würmer, Stacheln, Zangen von Insekten u. s. w. vor. Auch die Nerven werden untersucht. Ledermüller nennt sie „erschreckliche Folterwerkzeuge für den Menschen“ und widerlegt die Ansicht, daß sie hohl seien. Wie Ledermüller berichtet, beschäftigte sich im Jahre 1727 die Petersburger Akademie mit derselben Frage. Diese Gesellschaft dehnte ihre Untersuchung sogar auf den Elefanten aus und fand, daß die Nerven dieses Tieres weder hohl noch erheblich dicker seien als diejenigen der übrigen Säugetiere. Vergeblich bemühte sich Ledermüller, die Vorgänge, welche nach der Bestäubung der Blüten eintreten und zu deren Befruchtung führen, mikroskopisch zu verfolgen. „Ich habe mir,“ sagt er[2]) „alle Mühe gegeben, Öffnungen auf der Narbe zu sehen, in welche die Körner des Blütenstaubes kommen möchten, allein ich habe solche nicht entdecken können. Ich glaube daher, daß nicht der Staub selbst, sondern vielmehr die in seinen Körnern eingeschlossene ölige Substanz die Befruchtung veranlaßt“. Jedoch ist Ledermüller wohl bekannt, daß sich in manchen Fällen in dem Griffel ein Kanal nachweisen läßt[3]). Er erwähnt auch, daß von anderer Seite ein Eindringen des Staubes in diesen Kanal behauptet und der Befruchtungsvorgang in dieser Erscheinung erblickt werde. Die Klarstellung dieser Verhältnisse blieb

---

1) Geboren 1719 in Nürnberg, starb daselbst 1769, war von Beruf Jurist.

2) Mikroskopische Gemüts- und Augenergötzungen. 1761. Seite 46.

3) z. B. bei Butomus und Viola.

jedoch der mikroskopischen Forschung des 19. Jahrhunderts vorbehalten[1]).

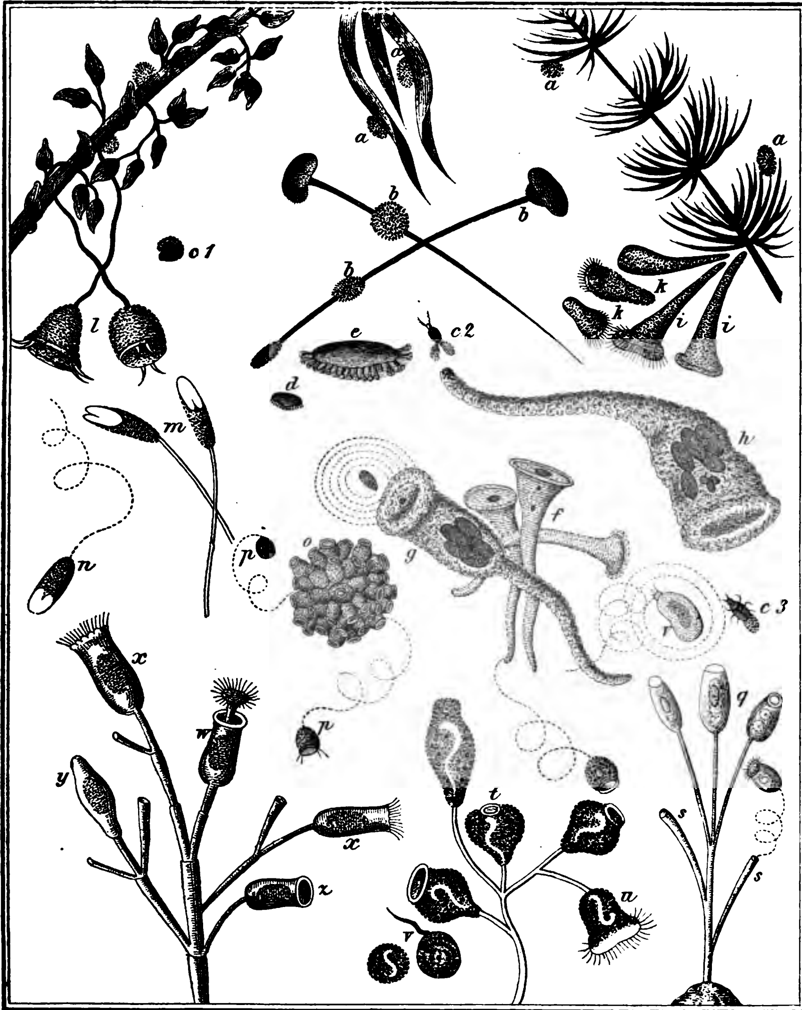


Abb. 70. Ledermüllers Abbildung von Aufgußtierchen.

Ein besonderes Interesse wandte Ledermüller auch den Aufgußtierchen zu, welchen er den Namen Infusorien beilegte.

---

1) Amici entdeckte den Pollenschlauch 1823 und dessen Eindringen in die Samenknospe 1830.

Umstehende Abbildung 70 ist die Wiedergabe einer Tafel seines Werkes[1]), auf der er einige von ihm als Schalmeientierlein (i, k), Deckeltierlein (y, w, x), Glockentierlein (l) bezeichnete, den Gattungen Stentor und Vorticella angehörende Infusorienarten zur Darstellung bringt. Auch die Frage nach der Entstehung dieser Geschöpfe wurde damals lebhaft erörtert. Während von der einen Seite die von Swammerdam und Redi hinsichtlich der Insekten widerlegte Urzeugung zur Erklärung des so rätselhaften Auftretens der Infusorien wieder in Anspruch genommen wurde, glaubten andere Forscher[2]) an eine Fortpflanzung durch Eier und Keime, welche sich in den zur Herstellung des Aufgusses benutzten Stoffen befänden. Da ein Nachweis dieser Keime äußerst schwierig war, so konnte die Lehre von der Urzeugung, welche zumal in Buffon einen angesehenen und eifrigen Vertreter fand, sich bis weit ins 19. Jahrhundert hinein erhalten. Ihre endgültige Beseitigung erfolgte erst durch die Experimente Pasteurs. Die im 68. Abschnitte des I. Bandes wiedergegebene Abhandlung dieses Forschers ist auch geeignet, den Leser mit dem im 18. Jahrhundert zwischen Spallanzani und seinen Gegnern geführten Streit bekannt zu machen.

Für die niedersten Pflanzen, wie die Pilze und Flechten, hatte Caesalpin[3]) ebenfalls die Urzeugung angenommen. „Manche Pflanzen," sagt dieser Forscher, „haben überhaupt keinen Samen, sie entstehen nur durch Fäulnis und sind gewissermaßen ein Mittelding zwischen den Pflanzen und der unbelebten Natur." Jungius, der aufgeklärteste Botaniker des 17. Jahrhunderts[4]), auf den sich Linné ganz besonders stützt, bezweifelt dies jedoch, während der letztere meint, daß „auch bei den untersten Stufen der Gewächse Blumen und Früchte vorhanden sind, obgleich sie ihrer Kleinheit wegen nicht deutlich wahrgenommen werden". Aus dieser Ansicht erklärt sich die von Linné für die niederen Pflanzen angewandte Bezeichnung „Kryptogamen" (Verborgenblütige). Die Einsicht in diejenigen Vorgänge, welche die Fortpflanzung der Kryptogamen ausmachen, blieb gleichfalls der neuesten Periode vorbehalten.

Neben der Lehre von der Urzeugung wurde das Gebiet der

---

1) Ledermüller, Mikroskopische Gemüts- und Augenergötzungen. 1761. II. Bd. Tafel LXXXVIII.

2) Wie der berühmte italienische Physiologe Spallanzani (1729—1799)

3) Siehe Seite 230 ds. Bds.

4) Jungius wurde 1587 in Lübeck geboren und starb im Jahre 1657.

Biologie während des 18. Jahrhunderts noch durch eine zweite Irrlehre verdunkelt, welche uns heute fast noch sonderbarer als jene anmutet; es ist die von Harvey ausgehende und von dem großen Anatomen und Physiologen Albert von Haller gestützte Evolutions- oder Einschachtelungstheorie. Das Studium der Befruchtung und Entwicklung hatte die Frage nach der Erklärung dieser Vorgänge angeregt. So war Harvey zu der Annahme geführt worden, das Ei enthalte die vollständige Anlage desjenigen Wesens, welches daraus hervorgeht. Dadurch kamen wieder Philosophen und Naturkundige des 18. Jahrhunderts auf den Gedanken, daß folgerichtig nach der Lehre Harveys das Ei auch das nächstfolgende, sowie alle späteren Geschlechter enthalten müsse. Diese Einschachtelungstheorie, gegen welche unter anderem auch die von Kölreuter bei seinen Bastardierungsversuchen erhaltenen Ergebnisse sprachen, wurde dann durch Kaspar Friedrich Wolff in seiner Theoria generationis vollständig widerlegt[1]). Mit diesem Forscher beginnt die neuere Entwicklungsgeschichte, welche den Vorgang der Entstehung als ein Werden oder einen Wachstumsprozeß betrachtet und ihn teils aus der Stammesgeschichte, teils aus mechanischen Ursachen zu erklären sucht.

Wie wir sahen, war der geschilderte Zeitraum, welcher den größten Teil des 18. Jahrhunderts umfaßt, auf dem Gebiete der Astronomie und der Physik vorzugsweise mit der Lösung aus der Newton-Huygensperiode überkommener Probleme beschäftigt. Fast ausschließlich in das 18. Jahrhundert fällt der Aufschwung, den die Lehre von der Reibungselektrizität erfuhr. Hier waren die beiden vorangehenden Perioden kaum über die seit alters bekannten einfachsten Wahrnehmungen hinausgekommen. Auf dem Gebiete der Chemie wurde durch zahlreiche Beobachtungen die große Tat vorbereitet, welche dieser Wissenschaft im Beginn der neuesten Zeit ein gänzlich verändertes Aussehen geben sollte, während in der Zoologie und der Botanik die systematische Richtung überwog und nur hin und wieder das induktive Verfahren zum Durchbruch kam. Daß dieses Verfahren auf allen Gebieten Platz greift und daß man es überall mit der mathematischen Behandlungsweise zu verknüpfen sucht, kennzeichnet die neueste Periode in der Entwicklung der Wissenschaften, deren Betrachtung wir uns jetzt zuwenden.

---

1) Übersetzt und herausgegeben von Dr. Paul Samassa als 84. und 85. Band von Ostwalds Klassikern der exakten Wissenschaften. Leipzig, Verlag von Wilhelm Engelmann. 1896.

IV. Die neueste Zeit.

Gegen das Ende des 18. Jahrhunderts macht sich auf allen Gebieten des geistigen, sowie des sozialen Lebens ein Umschwung bemerkbar, welcher für die gesamte Kulturentwicklung den Beginn einer neuen Phase bedeutet. In der Staatengeschichte erreicht dieser Vorgang seinen Höhepunkt in der französischen Revolution, mit welcher der Historiker die neueste Zeit beginnen läßt. Die Geschichte der Wissenschaften verzeichnet zwar gleichfalls einen mit der sozialen und politischen Entwicklung Schritt haltenden Wechsel; ihren Geschehnissen ist aber das scheinbar Unvermittelte bei weitem nicht in solchem Maße eigen wie den politischen Begebenheiten.

Die Naturwissenschaften waren auf dem Punkte angelangt, daß zahlreiche Kräfte sich zu ihrem weiteren Ausbau die Hand reichen mußten, während in den vorhergehenden Perioden der einzelne noch einen überwiegenden Einfluß ausgeübt hatte. Das neueste Zeitalter in der Entwicklung der Wissenschaften wird dementsprechend auch nicht durch eine hervorragend wichtige Entdeckung oder durch das Auftreten eines bedeutenden Forschers eingeleitet. Während für die Chemie eine neue Epoche beginnt, wandeln die Astronomie und die Mechanik in den eingeschlagenen Bahnen weiter. Die Prinzipien der letzteren werden in immer höherem Maße auf die übrigen Teile der Physik angewendet, welcher sich mit der Entdeckung des Galvanismus ein neues wichtiges Gebiet erschließt. Auch die Zoologie und die Botanik werden von einem Wechsel betroffen. Auf das Vorherrschen der Systematik folgt eine Richtung, in welcher morphologische und bald darauf auch physiologische Fragen an die erste Stelle rücken. Etwa in die Mitte der neuesten Periode fällt dann die großartige Verallgemeinerung und Verknüpfung der gesamten bisherigen Forschungsergebnisse infolge der Durchführung des Prinzips von der Erhaltung der Kraft. Die Betrachtung der dann folgenden letzten Entwicklungsstufen wird bis zu den Aufgaben des Tages führen und schließlich einen Ausblick in eine verheißungsvolle Zukunft eröffnen.

1. Die Neugestaltung der Chemie durch die Erklärung der Verbrennungserscheinungen und die Aufstellung der atomistischen Hypothese.

Eine Reihe von Jahrzehnten war seit der Begründung der neueren Physik verflossen, ehe die Chemie ihr mittelalterliches Gewand abstreifte und unter der Führung von Boyle einem rein wissenschaftlichen Ziele, nämlich der Erforschung der Zusammensetzung der Körper, nachzustreben begann. Boyle hatte den Begriff des chemischen Elementes aufgestellt und der analytischen Chemie eine sichere Grundlage gegeben. Auch hatte er sowohl das experimentelle Studium als auch die Erklärung der Verbrennungserscheinungen in Angriff genommen. Während der erste Teil dieser Aufgabe durch Boyle und seine Nachfolger sehr gefördert und ein großes auf den Vorgang der Verbrennung bezügliches Tatsachenmaterial herbeigeschafft wurde, blieb das gesamte von Boyle bis Lavoisier reichende Zeitalter bezüglich aller Erklärungsversuche in dem Banne der von Stahl begründeten Phlogistontheorie befangen. Selbst als Lavoisier seine antiphlogistische Lehre bis in ihre Einzelheiten ausgeführt hatte, vermochten jene Männer, auf die er sich besonders stützte, wie Priestley und Scheele, der älteren Theorie, die sie bei ihren großen Entdeckungen geleitet, nicht zu entsagen. Mit Dalton, Berzelius und Gay-Lussac trat indes ein neues Geschlecht von Forschern auf den Schauplatz. Indem diese an Lavoisier anknüpften, begann für die Chemie das Zeitalter der quantitativen Untersuchungen. Dadurch wurden die Beziehungen zur Physik immer engere, was sich auch darin aussprach, daß die Mehrzahl der damaligen Forscher auf beiden Gebieten hervorragende Leistungen aufzuweisen hatten. Die Chemie erhielt somit in dieser, den letzten Teil des 18. und den Beginn des 19. Jahrhunderts umfassenden Periode im wesentlichen ihre heutige Richtung und Gestalt.

Eine Einsicht in den Vorgang der Verbrennung wurde erst dadurch ermöglicht, daß Priestley die Erforschung der Gase in die Hand nahm und Scheele die Zusammensetzung der atmosphärischen Luft aus zwei Bestandteilen nachwies. Bis zur Zeit van Helmonts hatte man die Gasarten, von denen insbesondere der Wasserstoff, sowie das Kohlendioxyd bekannt geworden waren, noch nicht unter sich und von der atmosphärischen Luft unterschieden, sondern jeden gasförmigen Körper mit der Luft identifiziert und die beobachteten Verschiedenheiten auf Beimengungen

zurückgeführt. Ein erfolgreiches Studium der Gase begann erst mit der von Hales herrührenden Erfindung der pneumatischen Wanne und der Verwendung des Quecksilbers als Absperrflüssigkeit. Das letztgenannte Verfahren ermöglichte Priestley die Entdeckung der im Wasser löslichen Gasarten, wie des Ammoniaks und des Chlorwasserstoffs. Klare Ansichten über die chemische Natur der Gase kamen jedoch erst mit Lavoisier auf, welcher Sauerstoff und Wasserstoff als Elemente ansprach.

Joseph Priestley (1733 in England geboren, gestorben 1804 in Nordamerika) legte die Ergebnisse seiner mühevollen, auf die Gase bezüglichen Untersuchungen in einer Anzahl seit dem Jahre 1772 veröffentlichter Abhandlungen nieder, welche zum Teil zu einem größeren Werke[1]) vereinigt wurden. Zunächst befaßt sich Priestley in diesen Schriften mit dem von ihm als fixe Luft bezeichneten Kohlendioxyd[2]). Er entnimmt dieses Gas, das sich bei der Gärung bildet, den Brauereien, oder stellt es durch Übergießen von Kreide mit Säuren her. Die Untersuchungen Priestleys betreffen auch die Löslichkeit des Kohlendioxyds in Wasser. Gleichzeitig gibt er Anweisung über die durch Sättigen des Wassers mit Kohlendioxyd zu bewerkstelligende Gewinnung künstlicher Säuerlinge. Von der praktischen Verwertbarkeit der Ergebnisse wissenschaftlichen Forschens war Priestley tief durchdrungen. „Da wir selbst Teile des Systems sind,“ heißt es in seiner Naturlehre[3]), „so ergibt sich, daß, je vollkommener unsere Kenntnisse von den Naturgesetzen sind, umsomehr Gewalt wir über die Natur haben, und daß wir um so geschickter sind, solche Einrichtungen in der Welt zu treffen, die uns am meisten zusagen. Nur die tiefere Einsicht in die Gesetze der Natur gewähren dem Europäer diejenigen Vorzüge, welche er vor dem Wilden voraus hat. Wenn die Wissenschaft wie bisher immer größere Fortschritte macht, so wird das menschliche Geschlecht nach einigen Jahrhunderten bezüglich der gemachten Entdeckungen uns ebenso sehr übertreffen, wie wir jetzt die Wilden, denn die Natur ist unerschöpflich, sie gleicht einer Erzgrube, in welcher sich immer neue Anbrüche zeigen, und welche denen, die hinabsteigen, Stoff zu ununterbrochener Beschäftigung darreicht.“

---

1) Priestley, Experiments and observations on different kinds of air. 3 vol. 1774—1777; übersetzt von Ludewieg 1778.

2) Philosophical Transactions. LXII. 1772.

3) Priestley, Versuche und Beobachtungen über verschiedene Teile der Naturlehre. Deutsche Übersetzung vom Jahre 1780. Bd. III. Vorrede.

Auf das Vorhandensein von „fixer Luft“ in der Atmosphäre hatten schon Black[1]), sowie der schwedische Naturforscher Bergmann hingewiesen. Beide machten darauf aufmerksam, daß sich Kalkwasser an der Luft mit einer weißen, festen Masse bedeckt, aus der sich durch Übergießen mit Säure die „fixe Luft“ wieder freimachen läßt[2]).

Priestleys weitere Bemühungen liefen insbesondere darauf hinaus, die Säuren in Luftarten zu verwandeln. So erzeugte er aus Schwefelsäure die „vitriolsaure Luft“ (SO_2) und aus Salpetersäure „die salpetersaure Luft“ (NO). Er bemerkte, daß das letztere Gas sich mit Sauerstoff unter Verminderung des Gesamtvolumens (zu NO_2) verbindet, und gründete hierauf ein Verfahren, die atmosphärische Luft zu analysieren. Priestley wies ferner nach, daß die beim Zusammenbringen von Kochsalz und Schwefelsäure auftretenden Dämpfe aus einer in Wasser außerordentlich löslichen Luftart bestehen. Es gelang ihm, dieses salzsaure Gas (HCl), wie auch die beim Zusammenbringen von Salmiak und Kalk auftretende „laugenartige Luft“ (NH_3) über Quecksilber aufzufangen. Auch das Stickoxydul oder Lachgas (N_2O) und das Kohlenmonoxyd (CO) wurden von Priestley dargestellt. Am folgenreichsten war die ihm im Jahre 1771 gelungene Entdeckung des Sauerstoffs, welchen Priestley durch Erhitzen von rotem Quecksilberoxyd bereitete. Den Ruhm dieser Entdeckung hat er allerdings, wie wir gleich sehen werden, mit Scheele zu teilen[3]).

Bevor sich Priestley seinen Arbeiten über die Gase zuwandte, befaßte er sich insbesondere mit elektrischen Versuchen. Sein Buch über die Geschichte und Lehre der Elektrizität[4]) hatte großen Anklang gefunden und ihm die Mitgliedschaft der Royal Society eingetragen. Es ist nun von Interesse zu sehen, wie Priestley seine auf diesem Gebiete erworbenen Kenntnisse bei der experimentellen Erforschung der Gase verwertet. So schloß er atmosphärische Luft in eine Glasröhre über Wasser ein und ließ den

1) Joseph Black, 1728—1799, Professor der Chemie zu Glasgow und Edinburg.

2) Abhandlungen der schwedischen Akademie d. Wissensch. XXXV.

3) Daß Priestley und Scheele unabhängig voneinander schon so früh den Sauerstoff dargestellt und seine wichtigsten Eigenschaften erkannt haben, wurde von G. W. A. Kahlbaum dargetan (Basel, Verhandlungen 1897. Bd. 12, S. 9).

4) History and present state of electricity with original experiments. London 1767. Übersetzt von Krünitz. Stralsund 1772.

Funken wiederholt hindurchschlagen. Dabei zeigte sich, daß sich das Luftvolumen verminderte. War das in der Röhre befindliche Wasser mit Lackmus blau gefärbt, so nahm es eine rote Farbe an[1]). Das umgekehrte Verhalten zeigte Ammoniak oder „laugenhaftes Gas“ (NH_3). Unter der fortgesetzten Einwirkung des elektrischen Funkens vergrößerte es nämlich sein Volumen. Priestley nahm auch wahr, daß hierbei eine tiefgreifende chemische Veränderung mit dem Ammoniakgas vor sich geht. „Vorher wurde es,“ so berichtet er, „vom Wasser leicht verschluckt. Mit „elektrischer Materie“ überladen, scheint es keine Verwandtschaft mehr zum Wasser zu haben. Es ist in eine eigene Art „zündbare Luft“ verwandelt[2]).“ Auch die Analyse von Gasen durch Detonation (Verpuffung) rührt von Priestley her. Brennbare Gase oder Gasgemenge mischte er über Quecksilber mit Sauerstoff. Durch den elektrischen Funken wurde alsdann eine Verpuffung herbeigeführt und der Rückstand untersucht. So fand Priestley, daß diejenige zündbare Luft, welche man erhält, wenn man Alkoholdampf durch eine glühende Röhre leitet oder Holz der trockenen Destillation unterwirft, nach dem Verpuffen mit Sauerstoff einen Rückstand von fixer Luft (CO_2) hinterläßt[3]), während dies beim Detonieren der aus Eisen und Schwefelsäure hergestellten „zündbaren Luft“ (H) nicht der Fall war. All diese Errungenschaften eines ganz hervorragenden experimentellen Geschicks sind für die Entwicklung der Chemie von größter Bedeutung gewesen, doch kleidet sie Priestley in das Gewand der phlogistischen Theorie. Die Verbrennung besteht

---

[1]) Cavendish wiederholte diesen Versuch und lieferte den Nachweis, daß hierbei durch die Vereinigung von Sauerstoff und Stickstoff Salpetersäure entsteht. Als absorbierende Flüssigkeit wandte er Alkali an, mit dem die entstandene Säure Salpeter bildet. Cavendish machte schon die Beobachtung, daß bei diesem Versuch trotz genügender Zufuhr von Sauerstoff ein nicht absorbierbarer Rest zurückbleibt. Diese eigentümliche Erscheinung hat erst im Jahre 1894 dadurch ihre Erklärung gefunden, daß Rayleigh und Ramsay als dritten wesentlichen Bestandteil der Atmosphäre das Argon nachwiesen, ein Element, das mit dem Sauerstoff unter der Einwirkung des elektrischen Funkens keine Verbindung eingeht.

[2]) Es ist dies die noch jetzt bei Vorlesungen beliebte Analyse des Ammoniaks, welches dabei unter Verdoppelung seines Volumens in Stickstoff und „zündbaren“ Wasserstoff zerfällt.

[3]) Beim Hindurchleiten durch ein glühendes Rohr zerfällt der Alkohol in ein Gasgemisch, das vorzugsweise aus Kohlenwasserstoffverbindungen, wie Methan, Aethylen, Benzol u. s. w., besteht und bei seiner Verpuffung mit Sauerstoff infolgedessen Kohlendioxyd (CO_2) liefert.

bei ihm in einem Entweichen von Phlogiston, das von den die Verbrennung unterhaltenden Luftarten aufgenommen wird, und zwar um so energischer, je weniger diese Luftarten selbst an Phlogiston besitzen. Sauerstoff unterhält die Verbrennung am besten, weil er gar kein Phlogiston enthält. Priestley nennt dieses Gas daher „dephlogistisierte Luft.“ Wasserstoff ist dagegen reines Phlogiston, da es die erhitzten Metalloxyde in Metalle zurückverwandelt. Die atmosphärische Luft stellt sich nach dieser Theorie als ein Gemenge von „dephlogistisierter“ (O) und „phlogistischer“ Luft (N) dar. Durch die bei der Verbrennung vor sich gehende Zufuhr von Phlogiston verwandelt sie sich ganz in phlogistische Luft. Auf den Widerspruch, der darin liegt, daß bei der Verbrennung die atmosphärische Luft ihrem Volumen, sowie ihrem Gewichte nach vermindert wird, ist Priestley nicht gekommen. Auch die Entdeckung der Tatsache, daß bei der Vereinigung von reinem Phlogiston (H) mit reiner dephlogistisierter Luft (O) keine Spur von phlogistischer Luft (N), sondern Wasser auftritt, ließ diesen Forscher an der eingewurzelten Theorie nicht irre werden. Auf den nahe liegenden Gedanken, das Gewicht der zündbaren Luft in den aus Metallkalk entstandenen Metallen zu bestimmen, ein Gedanke, dessen Ausführung auf einen weiteren Widerspruch geführt haben würde, ist Priestley zwar gekommen. Wie er sagt, sei er jedoch außer stande gewesen, die Frage, ob das Metalloxyd bei seiner Umwandlung schwerer oder leichter werde, zu entscheiden, da immer eine teilweise Sublimation stattgefunden habe. Er verfolgt die Sache daher trotz ihrer ausschlaggebenden Bedeutung nicht weiter, sondern entscheidet sie im Sinne der von ihm vertretenen Lehre. An ihm, sowie an Scheele, welche das gesamte zur Aufstellung der wahren chemischen Theorie erforderliche Material in den Händen hielten, erwies sich recht eigentlich die Wahrheit des Wortes von Laplace, daß die Entdeckungen in der Verknüpfung derjenigen Ideen bestehen, welche zueinander passen.

Während sich Priestley wesentlich auf die Erforschung der Gase beschränkte, erfuhren zur selben Zeit sämtliche Teile der Chemie eine kaum jemals wieder in gleichem Maße von einem einzigen Manne ausgehende Bereicherung durch Scheele. Dieser war seiner Abstammung und Sprache nach ein Deutscher, wenn ihn auch die Schweden mit gleichem Rechte als den Ihrigen betrachten und seine Verdienste vor einem Jahrzehnt durch die feierliche Begehung seines hundertundfünfzigsten Geburtstages und die Errichtung eines Standbildes gewürdigt haben.

Karl Wilhelm Scheele wurde am 9. Dezember 1742 in dem damals schwedischen Stralsund geboren. Im 14. Lebensjahre widmete er sich der Apothekerlaufbahn. Nachdem er in mehreren schwedischen Städten seine Lehr- und Gehilfenjahre zugebracht und während dieser Zeit durch unermüdliches Experimentieren zu den hauptsächlichsten Ergebnissen seiner Forschertätigkeit gelangt war, übernahm er 1775 eine eigene Apotheke[1]) und starb am 21. Mai des Jahres 1786.

Mit den auf den Sauerstoff und die atmosphärische Luft bezüglichen Entdeckungen Scheeles ist der Leser bereits durch einen im I. Bande wiedergegebenen Auszug aus der wichtigsten Arbeit dieses Forschers bekannt geworden[2]). Letztere führt den Titel „Chemische Abhandlung von der Luft und dem Feuer" und erschien im Jahre 1777. Die Versuche, welche Scheele darin mitteilt, wurden jedoch schon in der Zeit von 1768—1773 ausgeführt. Aus seinem vor kurzem veröffentlichten Briefwechsel[3]) geht hervor, daß Scheele schon im Jahre 1770 mit der Darstellung von Chlorwasserstoff, Ammoniak und Stickoxyd bekannt war. Den Sauerstoff stellte er nicht nur, wie wir schon erfuhren[4]), durch Erhitzen eines Gemenges von Braunstein und Schwefelsäure, sowie aus Salpeter her, sondern er bereitete ihn auch durch Glühen leicht zersetzbarer Oxyde, wie des Goldoxyds und des roten Quecksilberoxyds, dessen sich bekanntlich auch Priestley bediente[5]).

Scheeles Arbeit über den Braunstein lehrte außer dem Sauerstoff auch Mangan, Chlor und Baryterde (BaO) kennen, welche in den von ihm untersuchten Braunsteinsorten als Beimengung enthalten ist. Eine Lösung von Baryterde benutzte er, wie es noch heute geschieht, zum Nachweis der Schwefelsäure, während man sich vorher zu diesem Zwecke der viel weniger geeigneten Kalklösung bedient hatte.

Außerordentlich waren Scheeles Verdienste um die vor ihm kaum als Wissenszweig bestehende organische Chemie. Aus den sauren Pflanzensäften erhielt er durch Zusatz von Kalk- oder Bleilösung Niederschläge, die er als die Salze gewisser Säuren

---

1) In Köping, wo er im Alter von 43 Jahren starb.

2) Siehe Bd. I, Abschnitt 34.

3) Herausgegeben von v. Nordenskjöld. Siehe Naturwissenschaftliche Rundschau, VIII, Seite 518.

4) Siehe Bd. I, Seite 187 und 188.

5) Über die Zeit der Entdeckung des Sauerstoffs siehe die Anm. 3 auf Seite 303 ds. Bds.

erkannte. Durch Zersetzen dieser Niederschläge mittelst Schwefelsäure gelang ihm die Darstellung der wichtigsten organischen Verbindungen, wie der Wein-, der Zitronen-, der Äpfelsäure u. s. w. Die Zersetzung von Blutlaugensalz führte ihn zur Entdeckung der Blausäure. Auch auf das seit alters bekannte Verhalten der Fette gegen die Alkalien warfen seine Untersuchungen das erste Licht, indem er aus den Fetten durch Behandeln mit Bleioxyd das Glycerin abschied. Alles dies sind Ergebnisse, die, wie wir sehen werden, für die Arbeiten späterer Forscher grundlegend gewesen sind. Der Umstand, daß diese Untersuchungen unter dem Einfluß der Phlogistontheorie geführt wurden, ist durchaus nicht im stande, den Wert dieser Arbeiten zu beeinträchtigen, zumal Scheele wie kein anderer der antiphlogistischen Lehre den Boden bereiten half. Gipfelt doch dasjenige, was er von der Luft und dem Feuer geschrieben, in der klaren Erkenntnis, daß die Luft aus zwei verschiedenen Gasen zusammengesetzt ist, von denen nur der Sauerstoff, den er als „Feuerluft" bezeichnet, die Verbrennung und alle der Verbrennung analogen Erscheinungen unterhält. Scheele lehrt die Mittel kennen, um der Luft diesen wirksamen Bestandteil zu entziehen; er findet, daß das zurückbleibende Gas, welches er als „verdorbene Luft" bezeichnet, etwa vier Fünftel der gesamten Luft ausmacht. Letztere stellt er durch Zusammenmischen der beiden Bestandteile mit allen ihren Eigenschaften wieder her. Daß Scheele trotzdem nicht zum Verständnis der von ihm so musterhaft durchforschten Erscheinungen gelangte, liegt daran, daß er nicht in hinreichendem Maße die quantitativen Beziehungen, welche zwischen ihnen obwalten, berücksichtigte. Sobald dies geschah, mußte bei der Stufe, auf welche die Chemie durch ihn und Priestley gelangt war, der Schleier, der die Wahrheit verhüllte, mit einem Male fallen. Es bedurfte, wie aus den im I. Bande wiedergegebenen Ausführungen Lavoisiers hervorgeht[1]), hierzu keiner einzigen neuen Entdeckung, sondern nur der folgerichtigen Anwendung des Messens und des Wägens auf den bekannt gewordenen Verlauf der Erscheinungen.

Die Verschiedenheit in dem Verfahren Lavoisiers und Scheeles tritt am deutlichsten hervor, wo wir beide Forscher mit der Untersuchung desselben Gegenstandes beschäftigt finden. Während des 17. Jahrhunderts hatte sich insbesondere auf Grund eines durch van Helmont bekannt gegebenen Resultates[2]) die Meinung

[1]) Siehe Bd. I, Abschnitt 35.

[2]) Siehe Seite 187 ds. Bds.

gebildet, daß sich Wasser in feste, erdige Stoffe verwandeln lasse. Im 18. Jahrhundert waren gewichtige Zweifel hiergegen laut geworden. Sowohl Scheele, wie auch Lavoisier ließen es sich angelegen sein, die Entscheidung auf dem Wege des Versuches herbeizuführen. „Ich goß“, sagt ersterer[1]), „ein halbes Lot destilliertes Schneewasser in einen kleinen gläsernen Kolben, der mit einem dünnen, eine Elle langen Halse versehen war, und verschloß ihn mit einem genau passenden Kork. Darauf hing ich diesen Kolben über einer brennenden Lampe auf und unterhielt das Wasser zwölf Tage und Nächte in beständigem Kochen. Als es zwei Tage gekocht, hatte es ein etwas weißliches Aussehen erhalten. Nach sechs Tagen war es wie Milch, und am zwölften Tage schien es schon dick zu sein.“ Der Kolben zeigte sich auf seiner inneren Fläche, soweit das kochende Wasser gestanden hatte, korrodiert, und die das Wasser trübende, zum Teil darin gelöste Substanz enthielt, wie die qualitative Untersuchung ergab, die Bestandteile, welche das Glas zusammensetzen, nämlich Alkali, Kalk und Kieselsäure. „Konnte ich“, fährt Scheele fort, „wohl länger zweifeln, daß das Wasser durch das beständige Kochen das Glas zersetzen kann? Die Erde, welche ich erhielt, war von nichts weniger als aus dem Wasser entstanden.“

Ganz anders verfährt Lavoisier[2]) und gelangt dennoch zu dem gleichen Ergebnis. Ihm würde die qualitative Analyse der im Wasser befindlichen Stoffe große Schwierigkeiten bereitet haben. Lavoisier bedarf einer solchen aber auch garnicht, sondern er entscheidet die Frage auf rein quantitativem Wege. Er bringt Wasser in ein Glasgefäß, wägt und verschließt es und erhält den Inhalt etwa 100 Tage auf Siedewärme. Darauf zeigt es sich, daß das entleerte Gefäß gerade so viel an Gewicht verloren hat, wie die von dem Wasser gelösten und nach dem Verdampfen zurückbleibenden Stoffe wiegen. Wie in diesem Falle, so verfuhr Lavoisier bei seinen sämtlichen Untersuchungen. Die qualitative Seite der von ihm studierten Vorgänge war meist durch die Arbeiten der Phlogistiker genügend bekannt geworden. Durch die Genauigkeit seiner Messungen und Wägungen, sowie durch die logische Schärfe der daran sich anschließenden Folgerungen verstand es Lavoisier, das verknüpfende Band zu finden und ein chemisches System, sowie eine Nomenklatur zu schaffen, welche

---

[1]) Ostwalds Klassiker Nr. 58, Seite 5.

[2]) Lavoisier, Sur la nature de l'eau. Mémoir. de Paris, 1770.

die Einreihung und die Beschreibung aller bekannten und auch der später entdeckten Erscheinungen leicht ermöglichten. In gewissem Sinne erfüllte Lavoisier somit für die Chemie die Rolle, welche Linné auf dem Gebiete der Zoologie und der Botanik eingenommen hatte.

Antoine Laurent Lavoisier wurde am 26. August des Jahres 1743 zu Paris geboren. Sein Vater, welcher durch den Handel zu bedeutendem Vermögen gelangt war, besaß ein großes Interesse für die Naturwissenschaften und ließ seinen Sohn durch ausgezeichnete Gelehrte darin unterrichten. Insbesondere fesselte den jungen Lavoisier, welcher auch eine vorzügliche mathematische Ausbildung erhielt, die Chemie in ihrer Anwendung auf das praktische Leben. Kaum 20 Jahre alt, löste er eine von der französischen Regierung gestellte technische Aufgabe. Großmütig überließ er den ihm zugefallenen Preis seinen Mitbewerbern, um diesen die ihnen erwachsenen Unkosten zu ersetzen, und begnügte sich mit der gleichfalls an den Preis geknüpften Denkmünze. Mit 25 Jahren (1768) wurde Lavoisier Mitglied der Akademie der Wissenschaften. Bald darauf erhielt er die Stelle eines Generalpächters. Die hohen Einkünfte, welche damit verbunden waren, verwandte er auf seine, bedeutende Mittel erfordernden Experimentalarbeiten. Später übertrug man ihm die Verwaltung der Salpeter- und der Pulverfabriken, eine Stellung, für welche Lavoisier seiner chemischen Kenntnisse und seines Scharfblickes in allen praktischen Dingen wegen hervorragend geeignet war.

Lavoisier hatte bei Boyle gelesen, daß Blei und Zinn, wenn man sie in mit Luft gefüllten, verschlossenen Glasgefäßen erhitzt, unter Zunahme ihres Gewichtes in die entsprechenden Metallkalke übergehen. Da sich diese Erscheinung mit der herrschenden Theorie nicht wohl vereinigen ließ, faßte Lavoisier den Entschluß, sie durch Versuche und deren vorurteilsfreie Deutung auf ihre wahre Ursache zurückzuführen. Er brachte eine abgewogene Menge Zinn in eine Retorte, verschloß diese vollkommen und erhitzte, bis das Zinn verkalkt war. Wurde die Retorte nach dem Erkalten von neuem gewogen, so zeigte es sich, daß ihr Gewicht dasselbe geblieben. Die Annahme Boyles, die Verkalkung bestehe darin, daß ein hypothetischer Stoff die Wände der Retorte durchdringe und mit dem Metall eine Verbindung eingehe, erwies sich somit als unhaltbar. Nach dieser Feststellung wurde die Retorte geöffnet; es drang Luft in sie hinein, und die Retorte besaß infolgedessen jetzt ein größeres Gewicht. Die entstandene Zinnasche wurde nun gewogen, und

es zeigte sich, daß der Zuwachs an Gewicht, welchen die Retorte durch das Eindringen der Luft erfahren, genau so groß war, wie diejenige Zunahme, welche vorher das Zinn innerhalb der Retorte erlitt. Diese Versuche ließen für die Verkalkung der Metalle keine andere Deutung zu, als daß sich diese Stoffe unter entsprechender Vermehrung ihres Gewichtes mit der Luft verbinden. Im Jahre 1772 berichtete Lavoisier der Akademie über seine Ergebnisse. Die gewonnene Erkenntnis mußte jedoch unzulänglich bleiben, solange ihm die Zusammensetzung der Atmosphäre nicht bekannt war. Erst als Priestley 1774 bei einem Besuche in Paris Lavoisier mit dem Sauerstoff und dessen Darstellung aus roter Quecksilberasche vertraut gemacht hatte, war dem französischen Forscher der Schlüssel zu dem vollen Verständnis seiner Versuche gegeben.

Bald darauf erschien denn auch eine Arbeit Lavoisiers, welche das Wesen der Verbrennung und der Reduktion in das klarste Licht stellte. Ersterer Vorgang, welcher der Verkalkung der Metalle analog ist, besteht danach in der Vereinigung des brennbaren Körpers mit dem einen, die Verbrennung unterhaltenden Bestandteil der Luft, der „dephlogistisierten" oder „Feuerluft" der früheren Chemiker, welche Lavoisier zunächst als „reine Luft" und später, nachdem er ihre Bedeutung für die Bildung der Säuren erkannt hatte, als Sauerstoff bezeichnete. Wie er diesen Sauerstoff durch tagelanges Erhitzen von Quecksilber der atmosphärischen Luft entzog und durch Glühen des entstandenen Oxyds nach dem Vorgange Priestleys wieder herstellte, haben wir durch seine eigene, im I. Bande wiedergegebene Darstellung erfahren[1]. Findet das Erhitzen des Quecksilberkalkes unter Zusatz von Kohle statt, so bildet sich an Stelle von Sauerstoff „fixe Luft". Letztere, so folgert Lavoisier, kann also nur in der Vereinigung von Kohlenstoff und Sauerstoff bestehen. Dieser Schluß findet eine weitere Bestätigung, indem Lavoisier beim Verbrennen von Holzkohle in Sauerstoff gleichfalls „fixe Luft" (CO_2) erhält. Dasselbe Gas trat auf, als er anstatt Holzkohle Diamant nahm, welcher vermittelst großer Brennspiegel in einem mit Sauerstoff gefüllten Glasgefäß entzündet wurde. Erst durch diese Abänderung des etwa 100 Jahre früher in Florenz gemachten Versuches war das Wesen jenes merkwürdigen Minerals erkannt; der Diamant war danach nichts als kristallisierter Kohlenstoff. Eine andere merk-

[1]) Siehe Bd. I, Abschnitt 35.

würdige Erscheinung, die man mit dem Florentiner Versuch garnicht in Einklang bringen konnte, die Erscheinung nämlich, daß der Diamant in Kohlenpulver verpackt der größten Hitze ausgesetzt werden kann, ohne sich zu verändern, fand jetzt gleichfalls ihre Erklärung. Der Diamant war eben eine unschmelzbare Substanz, welche durch die Hitze nicht etwa als solche verflüchtigt wird, sondern sich nur bei Gegenwart von Sauerstoff in eine gasförmige Verbindung, in fixe Luft oder Kohlendioxyd, verwandelt.

Schon in einer insbesondere die Verkalkung betreffenden und an Boyle anknüpfenden quantitativen Arbeit vom Jahre 1772 hatte Lavoisier die Versuche auch auf Phosphor und Schwefel ausgedehnt und für diese Körper eine analoge, mit ihrer Verbrennung Hand in Hand gehende Vermehrung des Gewichtes festgestellt. Was lag näher, als diese Vermehrung gleichfalls auf eine Vereinigung mit dem Sauerstoff zurückzuführen? Lavoisier brachte deshalb in eine durch Quecksilber abgesperrte Luftmenge Phosphor, den er zum Teil verbrannte. Nach Beendigung dieser Verbrennung ließ sich der übrige Phosphor schmelzen und ins Sieden bringen, ohne daß eine Entzündung eintrat. Letztere erfolgte erst, wenn von neuem Luft unter die Glocke, in welcher der Versuch vor sich ging, gelangt war. Da sich bei der Vereinigung von Phosphor und Schwefel mit Sauerstoff die Anhydride von Phosphorsäure und schwefliger Säure bilden, von denen das letztere durch weitere Oxydation und Zutritt von Wasser in Schwefelsäure übergeht, so wurde das bisher als reine Luft bezeichnete Gas als Säure bildendes Prinzip angesprochen.

Diese Ansicht, welche indes später, als man in der Salz- und in der Blausäure sauerstofffreie Verbindungen kennen lernte, eine wesentliche Einschränkung erfuhr, fand durch Lavoisiers Untersuchung der Salpetersäure[1]) eine wesentliche Stütze. Lavoisier löste eine abgewogene Menge Quecksilber in Salpetersäure (HNO_3) auf; dabei entwickelte sich das von Priestley als Salpeterluft (NO_2) bezeichnete Gas. Wurde die nach dem Eindampfen erhaltene Verbindung ($Hg[NO_3]_2$) erhitzt, so fand eine weitere Entwicklung von Salpeterluft statt, und es blieb rotes Quecksilberoxyd zurück[2]), welches beim Glühen in Sauerstoff und ein der angewandten Menge gleiches Quantum Quecksilber zerfiel. Da das Quecksilber völlig wieder erhalten wurde, konnten der Sauerstoff

1) Sur l'existence de l'air dans l'acide nitreux. Mém. de Paris. 1776.
2) $Hg(NO_3)_2 = HgO + 2\,NO_2 + O$.

und die Salpeterluft nur der Salpetersäure entstammen. Durch die Vereinigung dieser beiden Gase mit Wasser gelang es Lavoisier, auch die Salpetersäure wiederherzustellen und so durch die Synthese seinen Schlüssen doppeltes Gewicht zu verleihen. Völlig aufgeklärt wurde dann die chemische Natur der Salpetersäure durch das Hinzutreten einer wichtigen, von dem Phlogistiker Cavendish herrührenden Entdeckung. Ausgehend von Priestleys Beobachtung, daß die Luft durch fortgesetzte Einwirkung des elektrischen Funkens eine chemische Veränderung erleidet, zeigte Cavendish, daß sich hierbei die Gemengteile der Luft zu Salpetersäure verbinden[1]. Durch diesen synthetischen Versuch und die von Lavoisier herrührende Analyse war die hinsichtlich der Salpetersäure gestellte Aufgabe gelöst. Lavoisier wies ferner darauf hin, daß der durch Sättigen von Salpetersäure mit Alkali erhaltene Salpeter gleichfalls Sauerstoff enthält, da sich beim Erhitzen von Salpeter mit Kohle fixe Luft (CO_2) entwickle.

Wie die Verbrennung, so wurde durch die neue Theorie auch die Atmung in das rechte Licht gestellt. Diese besteht danach in der Verbindung von Sauerstoff mit den Bestandteilen der organischen Substanz. Wie bei der Verbrennung, so wird auch hierbei Wärme entwickelt. In dem wesentlichsten Erzeugnis der Atmung, dem Kohlendioxyd, stammt der Kohlenstoff aus dem Organismus, der Sauerstoff dagegen aus der Atmosphäre. Die Analogie zwischen beiden Vorgängen wird von Lavoisier auch daraus erschlossen, daß Kohlendioxyd neben Wasser auch bei der Verbrennung organischer Substanzen, wie Alkohol, Öl und Wachs, entsteht. Indem Lavoisier weiter aus der Menge des entstandenen Kohlendioxyds und Wassers den Kohlenstoff- und Wasserstoffgehalt der verbrannten Substanz ermittelt, wird er zum Begründer der Elementaranalyse. Den Vorgang der Gärung faßte er ganz richtig auf als den Zerfall einer ternären, d. h. einer aus drei Elementen (C, H und O) bestehenden organischen Verbindung, des Zuckers nämlich, in den, neben Kohlen- und Wasserstoff, eine relativ geringere Menge Sauerstoff enthaltenden Alkohol und das binäre an Sauerstoff reiche Kohlendioxyd. Ließe sich eine Synthese des Alkohols mit dem Kohlendioxyd bewirken, so müßte sich, wie er ganz richtig ausführt, wieder Zucker ergeben.

[1] Cavendish, welcher die entstandene Salpetersäure durch Kalilauge absorbieren ließ, bemerkte, daß ein nicht absorbierbarer Rest hinterbleibt, eine Tatsache, welche erst 1894 durch die Entdeckung des Argons ihre Erklärung fand.

Lavoisiers weiteres Bemühen war darauf gerichtet, in folgerichtiger Anwendung seiner Methode für die von ihm untersuchten Substanzen das Gewichtsverhältnis ihrer Bestandteile festzustellen, soweit ihm dies seine unvollkommenen Mittel erlaubten. So bestimmt er die quantitative Zusammensetzung des Kohlendioxyds, indem er eine abgewogene Menge Kohle vermittelst Mennige oxydiert. Aus dem Gewichtsverlust, den die Mennige dabei erleidet, berechnet er für Kohlendioxyd 72,1 % Sauerstoff, ein Ergebnis, welches dem wahren Wert (72,7 %) ziemlich nahe kommt.

Zu Beginn der 80er Jahre des 18. Jahrhunderts gelangte Lavoisier durch seine eigenen und die von Cavendish geführten Untersuchungen auch über die Natur des Wassers vollkommen ins reine. Cavendish hatte 1781 den Nachweis geliefert, daß sich bei der Vereinigung von Wasserstoff und Sauerstoff ausschließlich Wasser bildet, wobei sich 100 Raumteile Sauerstoff mit 201,5 Raumteilen Wasserstoff verbanden. Erst viel später erkannte man, daß in Wahrheit das einfache Verhältnis 100:200 obwaltet. Auf diese Synthese ließ Lavoisier die Analyse des Wassers folgen, indem er Dampf durch eine Röhre leitete, in der sich glühendes Eisen befand, ein Metall, das dabei unter Freiwerden von Wasserstoff oxydiert wird. Die Zersetzung von 100 Gewichtsteilen Wasser ergab eine durch den Sauerstoff des letzteren bewirkte Zunahme des Eisens um 85 Teile, während 15 Teile Wasserstoff aufgefangen wurden, ein Resultat, welches von der Wahrheit erheblich abwich, da spätere Versuche für die Elemente des Wassers das Verhältnis 89:11 ergeben haben.

In der Mitte der 80er Jahre stand die antiphlogistische Theorie, deren Entwicklung wir in vorstehendem kennen gelernt haben, in ihren Grundzügen vollendet da. Einige Jahre später erfuhr sie durch Lavoisier eine lichtvolle Darstellung, mit welcher der Leser durch den 35. Abschnitt des I. Bandes bekannt geworden ist. Alles Bemühen, die Phlogistontheorie zu retten, war vergeblich; sie wurde mit Scheele und Priestley zu Grabe getragen. Indes sollte Lavoisier die allgemeine Anerkennung der neuen Lehre, gegen welche man sich auch in Deutschland anfangs sträubte, nicht mehr erleben[1]). Das Jahr, in welchem sein soeben

[1]) G. W. A. Kahlbaum und A. Hoffmann: Die Einführung der Lavoisierschen Theorie im besonderen in Deutschland (Monographieen aus der Geschichte der Chemie. I. Heft. Leipzig 1897). Danach ist die Annahme,

erwähntes Lehrbuch erschien, war auch das Geburtsjahr der französischen Revolution. Die konstituierende Nationalversammlung hatte noch Lavoisiers Dienste in Anspruch genommen. Während der Schreckenszeit erinnerte man sich aber der einflußreichen Stellung, die er unter dem Königtum bekleidet hatte, und verurteilte ihn auf die nichtige Anklage hin, daß die von ihm verwaltete Regie den Tabak verschlechtert habe, zum Tode. Als ein Freund den Mut besaß, den Richtern gegenüber Lavoisiers Verdienste um die Wissenschaft hervorzuheben, erhielt er die den tollen Geist des Aufruhrs kennzeichnende Antwort: „Nous n'avons plus besoin des savants.“ So starb denn Lavoisier gefaßt und ruhig am 8. Mai des Jahres 1794.

Der Einfluß, welchen die von ihm geschaffenen Lehren und Methoden auf die weitere Entwicklung der Chemie ausgeübt haben, ist ein gewaltiger gewesen. Diese Wissenschaft tritt jetzt der Astronomie und der Physik, die gleichfalls ihr Emporblühen der Befolgung des quantitativen Verfahrens verdankten, als ebenbürtig an die Seite. Mit dem Auftreten Lavoisiers gelangte ferner ein Grundsatz zu allgemeiner Anerkennung, der für das quantitative Verfahren eine unerläßliche Vorbedingung bildet. Es ist dies der Satz, daß bei chemischen Vorgängen nichts entsteht und nichts vergeht, sondern die Summe der in den Prozeß eintretenden Stoffe eine unveränderliche Größe ist. Gegen diesen Satz, der fast selbstverständlich zu sein scheint und dennoch das Ergebnis der Erfahrung ist, wurde sogar von hervorragenden Chemikern des 18. Jahrhunderts noch gefehlt.[1])

Mit gleicher Schärfe erfaßte Lavoisier den von Boyle herrührenden Begriff des chemischen Elementes. Er versteht darunter jede Substanz, welche nicht in einfachere zerlegt werden kann. Als Elemente in diesem Sinne gelten ihm die damals allein bekannten schweren Metalle und die als Metalloide bezeichneten Grundstoffe, nämlich Sauerstoff, Wasserstoff, Stickstoff,

---

daß Deutschland sich länger als die übrigen Länder gegen die Annahme der Lehren Lavoisiers verschlossen habe, nicht gerechtfertigt.

1) Einen klaren Ausdruck dieses Prinzips von der Unzerstörbarkeit des Stoffes finden wir schon bei Galilei in seinem Dialog über die beiden Weltsysteme. Dort heißt es (Ausg. v. Strauß, S. 47): „Ich habe nie eine Umwandlung der Substanzen ineinander begreifen können, vermöge deren ein Körper als völlig vernichtet zu gelten habe und ein völlig verschiedener Körper aus ihm hervorgegangen sein soll.“ Umwandlungen geschehen nur „durch bloße Veränderung in der Anordnung der Teile, ohne daß etwas vernichtet oder etwas neues erzeugt wird“.

Kohlenstoff, Schwefel und Phosphor. Die Alkalien[1]) und die Erden[2]) hätten der gegebenen Erklärung gemäß zwar auch als Elemente betrachtet werden müssen, doch spricht Lavoisier schon die Vermutung aus, daß diese in mancher Hinsicht den Metallkalken ähnlichen Stoffe, wie die ersteren, Verbindungen bisher unbekannter Elemente mit Sauerstoff seien, eine Vermutung, welche durch die späteren elektrochemischen Forschungen eine glänzende Bestätigung erhalten sollte.

Als Lavoisier und Cavendish die Mengenverhältnisse, nach denen die Elemente zu chemischen Verbindungen zusammentreten, in den Bereich ihrer Untersuchung zogen, machten sie schon stillschweigend die Voraussetzung, daß diese Verhältnisse für scharf charakterisierte Verbindungen unveränderliche Größen seien. Das Qantitative konnte ja nur dann die Grundlage für die weitere Entwicklung der Chemie abgeben, wenn es die Bedeutung eines Naturgesetzes besaß. Demnach mußte die erste Aufgabe eines neuen Zeitalters in dem Nachweis bestehen, daß dies der Fall sei. Daran knüpfte sich dann weiter der Versuch einer ursächlichen Erklärung der chemischen Vorgänge und der bei diesen auftretenden Gesetzmäßigkeiten.

Um den Nachweis des Gesetzes von der Konstanz der Gewichtsverhältnisse hat sich der Franzose Proust[3]) sehr verdient gemacht. Ihm gelang es, die entgegengesetzte, von seinem Landsmann Berthollet[4]) vertretene Ansicht, daß die Elemente in stetig veränderlichen, von den äußeren Umständen abhängigen Verhältnissen sich verbinden, nach langem Streite und auf Grund zahlreicher Analysen zu widerlegen. Die Ansicht Berthollets, daß zwischen zwei Verbindungen, wie sie z. B. Schwefel und Eisen (FeS, FeS_2) oder Zinn und Sauerstoff (SnO, SnO_2) bilden, alle Übergänge möglich seien, ließ Proust nicht gelten. Er führte diesen Irrtum darauf zurück, daß Berthollet anstatt der vermeintlichen Übergangsstadien Gemenge jener Verbindungen unter der Hand gehabt habe, und lieferte den Nachweis, daß, wenn zwischen zwei Elementen mehrere Verbindungen bestehen, die Änderung in der Zusammensetzung nie allmählich, sondern stets sprungweise erfolgt. Geht z. B. Zinnoxydul, welches 11,9 % Sauerstoff enthält, durch weitere Aufnahme dieses Elementes in Zinnoxyd über, so

1) K_2O, Na_2O.

2) CaO, MgO, BaO, Al_2O_3.

3) Joseph Louis Proust; 1755—1826.

4) Claude Louis Berthollet; 1748—1822.

erfolgt dieser Übergang durch einen Sprung auf eine andere fest bestimmte Menge Sauerstoff, nämlich auf 21,3%. Dasselbe Verhalten zeigten auch Metalle, welche sich in mehreren Verhältnissen mit Schwefel verbinden. Proust dehnte seine Untersuchung auch auf die Verbindungen von Kupfer, Eisen, Nickel, Antimon, Gold, Silber, Quecksilber, sowie auf die organischen Substanzen aus. Für alle in Betracht gezogenen Fälle ergab sich das Vorhandensein jener von ihm behaupteten Gesetzmäßigkeit. Für die Vereinigung von Säuren und Basen unter Bildung von Salzen war die Konstanz der Gewichtsverhältnisse schon vor Proust durch den deutschen Chemiker Richter[1]) nachgewiesen worden; doch war die Arbeit dieses Mannes insbesondere ihrer dunklen Ausdrucksweise wegen zunächst fast unbeachtet geblieben. Eine Fortsetzung und Erweiterung fanden die von Proust begonnenen Untersuchungen durch Dalton, mit dessen Hauptwerk, dem „Neuen System der chemischen Wissenschaft“, der Leser schon durch den 43. Abschnitt des I. Bandes bekannt geworden ist.

John Dalton wurde im Jahre 1766 als Sohn eines armen englischen Webers geboren. Nachdem er die Schule verlassen, erteilte er vom 13. Lebensjahre an in seinem Heimatsorte Elementarunterricht. Es gelang ihm jedoch, sich soweit fortzubilden, daß er mit 27 Jahren eine Stelle als Lehrer der Mathematik und der Physik an einer Schule zu Manchester einnehmen konnte. Später gab er diese Stellung auf und erwarb sich seinen Unterhalt, indem er in den größeren Städten Englands Vorlesungen hielt. Äußere Ehren hat Dalton nicht gesucht. Selbst als sein Ruhm weit über die Grenzen des Vaterlandes hinausgedrungen war, blieb er der bescheidene Privatgelehrte, welcher in dem Forschen nach der Wahrheit seine größte Befriedigung fand. Dalton starb im Jahre 1844 zu Manchester.

Proust hatte bei seinen Analysen der verschiedenen Oxydations- und Schwefelungsstufen eines und desselben Elementes die Ergebnisse in Prozenten angegeben. Vergleicht man die so erhaltenen Zahlen, z. B. für die oben erwähnten Oxyde des Zinns, so lassen sie keine einfache Beziehung erkennen. Dalton, welcher den Nachweis der konstanten Gewichtsverhältnisse insbesondere auf gasförmige Verbindungen auszudehnen strebte, kam auf den glücklichen Gedanken, die Zusammensetzung für gleiche Gewichtsmengen des mit Sauerstoff verbundenen Elementes zu berechnen.

[1]) Jeremias Benjamin Richter (1762—1807) in seinen Anfangsgründen der Stöchiometrie. 1792.

So ergeben sich für die Oxyde des Zinns auf 100 Gewichtsteile dieses Elementes 13,5, beziehungsweise 27 Gewichtsteile Sauerstoff, oder für die Oxyde des Stickstoffs, mit welchen Dalton sich vorzugsweise beschäftigte, auf 14 Gewichtsteile Stickstoff 8, 16, 24, 32, 40 Gewichtsteile des anderen Elementes. Indem Dalton diese Mengen verglich, entdeckte er eins der wichtigsten Gesetze der Chemie. Es zeigt sich nämlich, daß die Gewichtsmengen Sauerstoff, welche mit einer bestimmten Menge Zinn oder Stickstoff zu Oxyden zusammentreten, in einem einfachen Verhältnis stehen. Diese Gewichte verhalten sich nämlich wie die Zahlen 1, 2, 3, 4, 5. Oder die in die höheren Oxydationsstufen eingehenden Mengen sind einfache Multipla derjenigen Menge, welche in der niedersten Oxydationsstufe enthalten ist. Dalton hat diese Untersuchungen, welche um das Jahr 1802 stattfanden, mit demselben Erfolge auf die Oxyde des Kohlenstoffs[1]), sowie auf die Verbindungen des letzteren Elementes mit Wasserstoff ausgedehnt.

An die Entdeckung wichtiger Gesetze hat sich jederzeit das Bemühen geknüpft, eine Vorstellung über die Natur der Dinge zu gewinnen, welche mit den entdeckten Regeln soweit in Einklang steht, daß letztere als eine notwendige Folge jener Vorstellung erscheinen. Diesen wichtigen Schritt auf der Bahn der Erkenntnis an die Auffindung des Gesetzes von den Multiplen angeschlossen zu haben, ist gleichfalls das unsterbliche Verdienst Daltons, welcher dadurch die Grundlage aller seitherigen naturwissenschaftlichen Betrachtung schuf.

Nach Daltons Vorstellung besteht jeder Körper aus äußerst kleinen Teilchen, und zwar sind diese Teilchen für jeden homogenen Stoff, z. B. für Wasserstoff, Wasser u. s. w., in allen ihren Eigenschaften, also auch in bezug auf ihr Gewicht, völlig gleich. Das letztere nach seiner absoluten Größe zu bestimmen, ist Dalton zwar nicht in der Lage; wohl aber vermag er auf Grund gewisser Annahmen die verhältnismäßige Schwere der kleinsten Teilchen zu ermitteln. Gibt es z. B. zwischen zwei Stoffen nur eine chemische Verbindung, so besteht die einfachste Annahme darin, daß sie sich durch Aneinanderlagerung von je einem Atom des einen und je einem Atom des anderen Elementes gebildet habe. In diesem Falle würde das Mengenverhältnis mit dem relativen Gewicht der Atome, welches Dalton sucht, übereinstimmen. Nach ihm trifft jene Voraussetzung z. B. für Wasser und Ammoniak zu; es war

[1]) Siehe Bd. I. Abschnitt 43.

nämlich damals nur eine Wasserstoffverbindung des Sauerstoffs, sowie des Stickstoffs bekannt. Unter der Annahme nun, daß diese Verbindungen sich durch Aneinanderlagerung von je zwei Teilchen der betreffenden Elemente bilden, ergab sich das Atomgewicht des Sauerstoffs = 7 und dasjenige des Stickstoffs = 5[1]). Genauere Analysen würden die Werte 8 und 4,6 geliefert haben. Wir bezeichnen diese Mengen, welche einem Teil Wasserstoff entsprechen, als Äquivalentgewichte. Sie ergeben erst mit der Valenz der betreffenden Elemente multipliziert die Atomgewichte. So ist das Atomgewicht des zweiwertigen Sauerstoffs 16 (2 × 8) und dasjenige des dreiwertigen Stickstoffs 14 (3 × 4,6).

Wie das Gesetz von der Konstanz der Gewichtsverhältnisse, so erscheint auch das Gesetz von den Multiplen als eine Folge der atomistischen Hypothese. Gibt es nämlich zwischen zwei Elementen mehrere Verbindungen, so wird man annehmen dürfen, daß sich je ein Atom des ersten Elementes mit je einem, zwei, drei Atomen des zweiten vereinigt. Die zweite Verbindung muß dann, weil ja die Atome unter sich gleich schwer sind, in bezug auf die unverändert gebliebene Menge des ersten Elementes die zweifache, die dritte Verbindung dagegen die dreifache Gewichtsmenge des zweiten Elementes besitzen.

Nachdem die atomistische Hypothese Geltung gefunden, bestand die nächste Aufgabe der Experimentalchemie in einer möglichst genauen Bestimmung der Äquivalente. Eine solche mußte nicht nur für die Analyse von der größten Wichtigkeit sein, sondern auch die Grundlage für alle weiteren Spekulationen bilden. Galt es doch, die Frage zu entscheiden, ob die erhaltenen Zahlen die wahren relativen Gewichte der Atome seien und ob ferner, dies vorausgesetzt, sich einfache Beziehungen zwischen den Atomgewichten ergeben würden.

Spekulationen, die sich nicht auf eine hinreichend sichere Grundlage stützen, haben sich fast immer als übereilt erwiesen. Dies lehrt auch die weitere Entwicklung der Atomtheorie. Vergleicht man die von Dalton 1803 veröffentlichte Tabelle mit der später in seinem „neuen Systeme“ mitgeteilten, so muß auffallen, daß die hier gegebenen Atomgewichte durchweg ganze Zahlen sind, während die Tabelle vom Jahre 1803, abgesehen von dem als Einheit geltenden Atomgewicht des Wasserstoffs, solche überhaupt nicht enthält. Diesen Abrundungen wurde nun durch den

---

1) Siehe die Tabelle in „Ostwalds Klassiker“ Nr. 3, Seite 18.

Engländer Prout, der sich um die Experimentalchemie kaum verdient gemacht hat, eine reale Bedeutung beigelegt. Prout nahm an, daß die wahren Atomgewichte ganze Zahlen und die Abweichungen, welche die Analyse ergibt, auf Fehler zurückzuführen seien. Auf Grund dieser irrigen Voraussetzung, welche lediglich aus der weitgehenden Unsicherheit der analytischen Ergebnisse entsprang, führte Prout nun sämtliche Elemente auf den Wasserstoff als Urmaterie zurück. Die Atome der Grundstoffe sollten sich durch Aneinanderlegung einer verschieden großen Zahl von Wasserstoffatomen gebildet haben, woraus dann notwendig folgen würde, daß die Atomgewichte einfache Multipla desjenigen des Wasserstoffs sind. Diese Hypothese Prouts, in der man zuerst das wahre Grundgesetz der Chemie erblicken wollte, ließ sich mit den späteren Ergebnissen der Analyse jedoch nicht vereinigen. Sie hat aber das Gute im Gefolge gehabt, daß sie zu immer schärferen Bestimmungen der Atomgewichte anregte. Der Mann, welcher sich dieser Aufgabe insbesondere unterzog, weil er erkannte, daß über den Wert oder Unwert einer Hypothese nur die Tatsachen entscheiden, war Berzelius.

Johann Jakob Berzelius wurde am 29. August des Jahres 1779 als Sohn eines Lehrers in Schweden geboren und studierte in Upsala Medizin und Chemie. Seine ersten Arbeiten betrafen die Analyse einer Heilquelle und die Wirkung der damals soeben entdeckten galvanischen Elektrizität auf chemische Verbindungen. Seit dem Jahre 1801 bekleidete Berzelius eine Lehrstelle für Chemie und Pharmazie an der medizinischen Schule zu Stockholm. Einige Jahre später wurde er zum Präsidenten der dortigen Akademie der Wissenschaften ernannt. Berzelius starb am 7. August des Jahres 1848.

Seine Verdienste um die weitere Entwicklung der Chemie und Mineralogie sind ganz hervorragend, müssen aber zum Teil an anderer Stelle betrachtet werden. Hier fesselt nur seine Mitarbeit an dem Ausbau der Atomtheorie, in deren experimenteller Begründung Berzelius seine Lebensaufgabe erblickte. „Ich überzeugte mich bald durch neue Versuche,“ sagt er[1], „daß Daltons Zahlen die Genauigkeit fehlte, die für die praktische Anwendung seiner Theorie erforderlich war. Ich erkannte nun, daß zuerst die Atomgewichte einer möglichst großen Zahl von Grundstoffen, vor allem der gewöhnlichen, mit möglichster Genauigkeit ermittelt

[1]) Berzelius, Lehrbuch der Chemie, Bd. III, 1161. 5. Aufl.

werden müßten. Ohne eine solche Arbeit konnte auf die Morgenröte kein Tag folgen. Es war dies also damals der wichtigste Gegenstand der chemischen Forschung, und ich widmete mich ihm in rastloser Arbeit. Nach zehnjährigen Mühen konnte ich im Jahre 1818 eine Tabelle herausgeben, welche nach meinen Versuchen berechnete Atomgewichte und Angaben über die Zusammensetzung von etwa 2000 Verbindungen enthält."

Einige Werte aus dieser Tabelle mögen dem Leser einen Begriff von der Genauigkeit der Berzelius'schen Untersuchungen geben.[1])

Kohlenstoff	12,12	(11,97),
Sauerstoff	16,00	(15,96),
Schwefel	32,3	(31,98).

Das wichtigste Ergebnis, welches mit zahlreichen Verbesserungen der bestehenden, sowie der Erfindung mancher neuen analytischen Methode Hand in Hand ging, war die Bestätigung des Gesetzes von den multiplen Proportionen und der Nachweis, daß die Proutsche Hypothese sich nicht mit den Tatsachen vereinigen läßt. Durch das in vorstehendem betrachtete Lebenswerk eines Priestley, Scheele, Lavoisier, Dalton und Berzelius hatte die Chemie im Verlauf von wenigen Jahrzehnten eine neue Gestalt und eine sichere Grundlage für alle weiteren Forschungen gewonnen; sie war der Physik als ebenbürtig an die Seite getreten. Auch hatten die Beziehungen zwischen diesen beiden Wissenschaften eine stete Vermehrung gefunden, insbesondere seitdem man die Elektrizität als chemisch wirksame Kraft kennen gelernt hatte. Bevor wir den weiteren Verlauf der chemisch-physikalischen Forschung betrachten, ist es deshalb erforderlich, die mit der Begründung des antiphlogistischen Systems und der Aufstellung der Atomtheorie zusammenfallende großartige Erweiterung, welche die Elektrizitätslehre durch Galvani und Volta erfuhr, ins Auge zu fassen.

2. Die Entdeckung der galvanischen Elektrizität und ihrer hauptsächlichsten Wirkungen.

Neben der seit alters bekannten Elektrizitätserregung durch Reiben hatte das 18. Jahrhundert, wie wir sahen, das Auftreten von Elektrizität durch Wärmezufuhr, sowie infolge atmosphärischer

---

1) Die heute geltenden Zahlen sind in Klammern hinzugefügt.

Vorgänge kennen gelernt; auch hatte man die elektrische Natur der von dem Zitterrochen ausgehenden Wirkung entdeckt. Zu diesen vier Arten gesellte sich jetzt eine fünfte, die Berührungs- oder die galvanische Elektrizität, mit der man gegen den Schluß des 18. Jahrhunderts bekannt wurde, während der Ausbau der Lehre vom Galvanismus wohl als die wichtigste Tat des neunzehnten Jahrhunderts anzusehen ist.

Daß die bloße Berührung zweier Metalle eine eigentümliche, später als elektrisch erkannte Wirkung hervorruft, wurde zum erstenmal um das Jahr 1750 von einem Deutschen namens Sulzer[1]) beobachtet. Dieser brachte die Spitze seiner Zunge zwischen ein Stück Blei und ein Stück Silber, die sich mit ihren Rändern berührten. Dabei nahm er eine an den Geschmack des Eisenvitriols erinnernde Empfindung wahr, welche Blei oder Silber für sich nicht hervorzubringen vermögen[2]). Es sei doch nicht wahrscheinlich, meint Sulzer, daß bei der Berührung jener beiden Metalle eine Auflösung vor sich gehe. Man müsse vielmehr schließen, daß diese Vereinigung eine zitternde Bewegung der Teilchen verursache, welche die Nerven der Zunge anrege und dadurch den erwähnten Geschmack hervorbringe.

Da die Beobachtung Sulzers ganz vereinzelt blieb, ging es ihr, wie es in solchen Fällen meist zu gehen pflegt, sie wurde nicht beachtet und schließlich vergessen, bis die weitere Entwicklung der Wissenschaft ein Zurückgreifen auf jene Entdeckung erforderlich machte. Die eigentliche Erforschung der Berührungselektrizität beginnt mit der zufällig gemachten Beobachtung, daß ein frisch präparierter Froschschenkel jedesmal in Zuckungen gerät, wenn in seiner Nähe eine elektrische Entladung stattfindet. Galvani hatte, wie der Leser aus der eigenen Darstellung dieses Forschers[3]) erfahren, jenes Verhalten des Froschschenkels um das Jahr 1780 kennen gelernt. Daß an toten Tieren Zuckungen der Muskeln unter dem unmittelbaren Einfluß von elektrischen Entladungen eintreten, war zwar längst bekannt; auch hatte man bemerkt, daß ein Zitterrochen leblose Fische zu Bewegungen veranlaßt. Was Galvanis Erstaunen hervorrief, war indes der Umstand, daß jene Zuckungen

[1]) Johann Georg Sulzer (1720—1779), Professor der Mathematik am Joachimsthalschen Gymnasium in Berlin.

[2]) Sulzer, Theorie der angenehmen und unangenehmen Geschmacksempfindungen, Berlin 1762. (Zuerst in den Mém. de Berlin 1751/52.)

[3]) Siehe Bd. I, Abschnitt 37a.

eintraten, ohne daß eine Verbindung zwischen der Elektrisiermaschine und dem Froschpräparat vorhanden war. Wir haben es in dieser Erscheinung noch nicht mit einer Wirkung der Berührungselektrizität zu tun, sondern mit einem sogenannten Rückschlag, welcher darin besteht, daß die infolge des Ladens der Maschine in dem Schenkel stattfindende elektrische Verteilung in dem Augenblicke des Entladens eine Änderung erfährt. Die elektrische Verteilung, sowie ihr Ausgleich tritt bei größerer Entfernung von dem Konduktor der Elektrisiermaschine nur dann in hinreichendem Maße ein, wenn der Schenkel mit der Erde in leitender Verbindung steht, was bei dem Versuch Galvanis durch eine anfangs zufällige, nachher jedoch absichtlich herbeigeführte Berührung des Schenkels mit einem leitenden Gegenstand[1]) bewirkt wurde. Das Erstaunen, in welches Galvani über seine Beobachtung geriet, ist der erste Schritt zu einer fast endlosen Reihe der wichtigsten Entdeckungen gewesen. „Ich wurde", sagt er[2]), „von einem unglaublichen Eifer entflammt, dasjenige ans Licht zu ziehen, was unter dieser Erscheinung verborgen war." Bevor wir jedoch Galvani auf seinem Wege folgen, wollen wir uns einige Augenblicke mit dem Leben dieses Mannes beschäftigen, dessen Glück und Verdienst der Wissenschaft ein neues, großes Gebiet erschließen sollte.

Aloisio Galvani wurde am 9. September 1737 zu Bologna geboren. Er studierte an der Universität seiner Vaterstadt Medizin und heiratete die Tochter eines der dortigen Professoren, welcher legendenhafte Berichte einen hervorragenden, wenn nicht gar den Hauptanteil an der Entdeckung des Galvanismus zugeschrieben haben[3]). Die ersten wissenschaftlichen Arbeiten Galvanis betrafen das Gebiet der Anatomie. Seit dem Jahre 1775 sehen wir ihn in Bologna eine Professur für dieses Fach bekleiden. Seine Versuche über die Wirkung der Elektrizität auf Froschschenkel begannen im Jahre 1780. Galvani führte darüber zunächst nur

---

1) Siehe Bd. I, Seite 205.

2) Siehe Bd. I, Seite 204.

3) In einem von Alibert, dem Biographen Galvanis (Alibert Éloge de Galvani, Paris, 1806) mitgeteilten Sonett lautet die zweite Strophe in der von Emil Dubois Reymond herrührenden Übersetzung:

War sie es nicht, die neue Lebenstriebe
In hautentblößter Frösche Gliedern fand,
Wenn hier der Nerven wunderbar Getriebe,
Dort funkensprüh'nden Leiter traf die Hand?

ein Tagebuch. Erst ein Jahrzehnt später vereinigte er die Ergebnisse seiner Untersuchungen zu einer Abhandlung, mit welcher der Leser durch den I. Band bereits bekannt geworden ist[1]).

Nachdem Galvani die Wirkung des Entladens auf einen in der Nähe der Elektrisiermaschine befindlichen Froschschenkel nachgewiesen, suchte er zunächst festzustellen, ob sich das gleiche, ihm ganz unerklärliche Phänomen auch durch den Einfluß der atmosphärischen Elektrizität hervorrufen lasse. Die hierauf bezüglichen Versuche werden im zweiten Teile jener Abhandlung vom Jahre 1791 beschrieben[2]). Die präparierten Frösche, sowie Schenkel von Warmblütern wurden bei einem Gewitter an den Nerven aufgehängt, während ein Eisendraht die Füße mit der Erde verband. Die erwartete Wirkung blieb nicht aus: in demselben Augenblick, in welchem der Schein eines Blitzes das Auge traf, gerieten die Muskeln in lebhafte Zuckungen, welche die darauf folgenden Donnerschläge gleichsam anzukündigen schienen.

„Nachdem wir die Kräfte der Gewitterelektrizität kennen gelernt hatten, brannte unser Herz vor Begierde, auch die Macht der täglichen ruhigen Elektrizität der Atmosphäre zu erforschen.“ Mit diesen Worten beginnt Galvani den dritten Teil seiner Schrift, in welchem wir mit den Erscheinungen einer ganz neuen Art der Elektrizitätserregung vertraut gemacht werden. Galvani hatte zum Nachweise der nach seiner Vermutung auch bei ruhigem Himmel vor sich gehenden Änderungen der atmosphärischen Elektrizität Froschschenkel vermittelst Messinghaken an einem eisernen Gitter aufgehängt. Die erwarteten Zuckungen blieben zunächst aus; sie stellten sich erst ein, als Galvani, ungeduldig geworden, sich mit den Schenkeln zu schaffen machte und letztere dabei mit dem Eisen in Berührung kamen. Galvani erkannte sofort, daß ihm hier ein ganz neues, unerwartetes Phänomen begegnete, das mit den Anderungen der atmosphärischen Elektrizität in gar keinem Zusammenhange steht. Er wiederholte daher den Versuch in seinem Zimmer, indem er den Frosch auf eine Eisenplatte legte und gegen diese den durch das Rückenmark gehenden Haken

---

1) Band I, Abschn. 37a. Galvanis Schrift führt den Titel: De viribus electricitatis in motu musculari commentatio. 1791. Sie erschien neuerdings unter dem Titel: Abhandlung über die Kräfte der Elektrizität bei der Muskelbewegung, herausgegeben von A. J. v. Oettingen, als 52. Band von Ostwalds Klassikern der exakten Wissenschaften. Leipzig, Verlag von Wilhelm Engelmann 1894.

2) Siehe Bd. I dieses Grundrisses, Seite 206.

drückte. Dabei gerieten die Muskeln jedesmal in Zuckung. Galvani änderte jetzt den Versuch in der Weise ab, daß er den Frosch auf eine die Elektrizität nicht leitende Glasplatte legte und den Messinghaken vermittelst eines Bogens mit den Füßen des Tieres verband. Bestand der Bogen aus Metall, so traten Zuckungen ein, welche dagegen bei Anwendung einer nicht leitenden Substanz ausblieben. Mit den von Galvani ersonnenen Abarten dieses Fundamentalversuches ist der Leser bereits durch die im I. Bande wiedergegebene Darstellung[1]) und die an jener Stelle reproduzierte Figur bekannt geworden. Für die merkwürdige Erscheinung selbst gab es nur zwei Erklärungen. Entweder war sie in dem Wesen des tierischen Organismus begründet, oder es handelte sich um einen auf die Berührung der Metalle zurückzuführenden elektrischen Vorgang, bei dem der Froschschenkel nur die Rolle eines empfindlichen Elektroskopes spielte. Galvani entschied sich für die erstere Ansicht, indem er die beschriebenen Erscheinungen als Betätigungen einer tierischen Elektrizität auffaßte. Diese sollte vom Gehirn aus durch die Nerven den Muskeln zufließen. Letztere verglich er mit der Leydener Flasche, indem er sich vorstellte, daß die Oberfläche und das Innere der Muskeln entgegengesetzt geladen seien. Brachte man demgemäß den Nerven, als den Konduktor dieser Flasche, mit der Oberfläche der Muskeln, welche dem äußeren Belag entsprechen sollte, in leitende Verbindung, so fand eine Entladung statt, als deren Folge die Zusammenziehung der Muskelsubstanz aufgefaßt wurde.

Begreiflicherweise erregten Galvanis wunderbare Versuche und seine Lehre, die zunächst allgemeine Anerkennung fand, das größte Aufsehen. „Der Sturm, den das Erscheinen von Galvanis Abhandlung in der Welt der Physiker, der Physiologen und Ärzte erregte“, sagt ein hervorragender Geschichtsschreiber des Galvanismus[2]), „kann nur mit demjenigen verglichen werden, der zur selben Zeit am politischen Horizont Europas heraufzog. Wo es Frösche gab und wo sich zwei Stücke ungleichartigen Metalls erschwingen ließen, wollte jedermann sich von der wunderbaren Wiederbelebung der verstümmelten Gliedmaßen durch den Augenschein überzeugen.“

Galvanis wissenschaftliche Tätigkeit hatte mit dem Erscheinen

1) Siehe Bd. I, Seite 208 und Abbildung 38.

2) Emil Du Bois-Reymond, Untersuchungen über tierische Elektrizität. Berlin 1848. Bd. I, Seite 50.

seiner „Abhandlung über die Kräfte der Elektrizität" ihren Höhepunkt erreicht. Die Führung auf dem neu erschlossenen Gebiete übernahm jetzt Alessandro Volta, während sich Galvani wesentlich darauf beschränkte, seine Theorie gegen die ihr von Volta bereiteten Angriffe zu verteidigen. Die letzten Lebensjahre verbrachte Galvani im Zustande tiefster Niedergeschlagenheit, welche der Tod der Gattin und seine Amtsentsetzung herbeigeführt hatten. Letztere erfolgte, weil er sich weigerte, den bei der Gründung der cisalpinischen Republik von ihm geforderten, seiner Überzeugung zuwiderlaufenden Eid zu leisten. Er starb am 4. Dezember 1798. Die Erfindung der Voltaschen Säule, welche den gänzlichen Untergang der älteren Theorie herbeiführte, sollte er nicht mehr erleben.

Alessandro Volta wurde am 18. Februar 1745 zu Como geboren. Fast 30 Jahre alt, wurde er Professor der Physik an dem Gymnasium seiner Vaterstadt. In derselben Eigenschaft berief man ihn fünf Jahre später (1779) an die Universität Padua, wo er bis zum Jahre 1819 wirkte. Die letzte Zeit seines Lebens verbrachte Volta in der Zurückgezogenheit; er starb am 5. März des Jahres 1827 zu Como.

Als Galvanis berühmte Abhandlung erschien, hatte Volta, der während der ersten Zeit seiner wissenschaftlichen Laufbahn mit Vorliebe das Verhalten der Gase studierte, sich schon hervorragende Verdienste um die Elektrizitätslehre erworben. In dem Kondensator, den er mit seinem Strohhalmelektrometer verband, hatte er ein Mittel zum Nachweis geringer Elektrizitätsmengen ersonnen[1]), welches bei der späteren Untersuchung der kontaktelektrischen Phänomene von größtem Werte sein sollte. Die Royal Society hatte ihn dafür zu ihrem Mitgliede ernannt und ihn durch die Verleihung einer Medaille ausgezeichnet.

Anfangs war auch Volta von der Richtigkeit der Ansichten Galvanis überzeugt. Einige Jahre später erkannte er jedoch, daß von einem Vergleich des Muskels mit der Leydener Flasche nicht die Rede sein könne. Der Froschschenkel geriet nämlich auch in Zuckungen, wenn ein elektrischer Ausgleich lediglich durch den Nerven hindurch erfolgte und die Muskeln gänzlich außerhalb des leitenden Kreises blieben. Ähnlich wie bei dem von Sulzer herrührenden Versuch[2]), gelang es Volta, durch Anlegen von zwei

---

[1]) Volta, Del modo di rendere sensibilissima la più debole elettricita sia artificiale, sia naturale. 1784.

[2]) Siehe Seite 321.

verschiedenartigen Metallstücken an Mund und Auge anstatt einer Geschmackserregung eine subjektive Lichtempfindung hervorzurufen. Auf diese Weise gewann in ihm die Vorstellung immer mehr Raum, daß man es in den Metallen nicht mit bloßen Leitern, sondern mit den eigentlichen Erregern der Elektrizität zu tun habe. Volta suchte daher der Mitwirkung von Nerv und Muskel gänzlich zu entraten. Er brachte die Metalle mit allen möglichen feuchten, aber nicht animalischen Körpern, wie Papier, Tuch u. s. w., in Berührung. Um den hierbei gleichfalls eintretenden elektrischen Ausgleich, der sich bisher in den Zuckungen der Muskeln geltend gemacht hatte, unzweifelhaft darzutun, bediente er sich seines Kondensators.

Wir sind damit bei dem Fundamentalversuch der Kontaktelektrizität angelangt. Dieser bestand darin, daß man das Auftreten entgegengesetzter Elektrizitäten durch die bloße Berührung zweier Metalle bewirkte, ohne dazu einer feuchten Zwischensubstanz, sei letztere animalisch oder nicht, zu bedürfen. Volta beschreibt diesen Versuch, zu dem er nichts weiter benötigte als Platten von verschiedenen Metallen mit isolierenden Handhaben und ein Elektrometer mit Streifen vom feinsten Blattgold, mit folgenden Worten[1]: „Bringt man die miteinander in Berührung gewesenen Platten unmittelbar an den Knopf des sehr empfindlichen Elektrometers, so werden die Goldblättchen etwas auseinandergehen und dadurch einige Elektrizität anzeigen, welche positiv oder negativ sein wird, je nach der Natur des Metalles, welches man untersucht, und des anderen, mit dem dieses vorher in Berührung stand.“ Wählte Volta z. B. eine Zink- und eine Kupferscheibe, so erwies sich nach der Berührung erstere als positiv, letztere dagegen als negativ elektrisch. Brachte man das Kupfer mit Zinn oder Eisen zusammen, so wurde es gleichfalls, indes in weit geringerem Maße, negativ elektrisch, während das Zinn und das Eisen sich wie das Zink in dem ersten Versuch verhielten. Wurden endlich Gold oder Silber mit Kupfer berührt, so wurde das letztere diesmal positiv, Gold und Silber dagegen wurden negativ elektrisch.

Indem Volta auf solche Weise seinen Fundamentalversuch vielfach abänderte, gelangte er zur Aufstellung der folgenden elektrischen Spannungsreihe:

1) In Voltas drittem Brief an Gren vom Jahre 1797.

+
Zink
Blei
Zinn
Eisen
Kupfer
Silber
Gold
Graphit
—

Diese Reihe enthält die bekanntesten Metalle in einer solchen Anordnung, daß jedes vorhergehende Glied, mit einem der nachfolgenden in Berührung gebracht, positiv elektrisch wird, während das spätere Glied stets den negativ elektrischen Zustand annimmt. Dabei stellte sich durch Messung mit dem Strohhalmelektrometer heraus, daß der elektrische Unterschied zwischen je zwei Gliedern dieser Reihe um so größer ist, je weiter die Glieder voneinander entfernt sind. So ergaben sich [1] für die ersten vier Glieder der Reihe folgende Differenzen:

Zink | Blei = 5
Blei | Zinn = 1
Zinn | Eisen = 3

Für Zink | Eisen aber erhielt man den Wert 9 (= 5 + 1 + 3). Damit war das wichtige Gesetz gefunden, daß der elektrische Unterschied für zwei Glieder der Spannungsreihe gleich der Summe der Unterschiede aller dazwischen liegenden Glieder ist, so daß in einer geschlossenen Kette von Metallen, in welcher z. B. Zink mit Blei, dieses mit Zinn, dieses mit Eisen und das letztere wieder mit Zink verbunden wird, die elektrischen Unterschiede sich ausgleichen und die Spannung infolgedessen gleich Null ist.

Volta hatte auf Grund dieser Versuche angenommen, daß die erregende Kraft ausschließlich an der Berührungsstelle der Metalle ihren Sitz habe und die animalischen oder anderen Feuchtigkeiten nur als Leiter dienen. Weitere Versuche belehrten ihn jedoch, daß auch bei der Berührung zwischen Metall und Flüssigkeit eine erregende oder elektromotorische Kraft auftritt. Isolierte Platten von Silber, Zinn, Zink u. s. w. wurden mit feuchtem Holz, Papier oder feuchten Ziegeln in Berührung gebracht. Nach dem Abheben erwiesen sich die Metallplatten als negativ elektrisch. Die Metalle wurden

[1] Volta, Gilberts Annalen, Bd. X, Seite 443.

jetzt Elektromotoren erster, die Flüssigkeiten, welche sich nicht in die Spannungsreihe eingliedern lassen, dagegen Elektromotoren oder Leiter zweiter Klasse genannt. Volta zeigte nun, daß, während in einem nur aus Elektromotoren erster Klasse bestehenden Kreise keine Bewegung der Elektrizitäten, kein Strom entsteht, ein solcher hervorgerufen wird, so oft zwei Elektromoren erster Klasse mit einem nassen, zusammenhängenden Leiter der zweiten Klasse und unter sich, entweder unmittelbar oder vermittelst eines dritten Leiters, in Verbindung stehen und auf diese Weise einen Kreis von Leitern bilden. Eine derartige Vereinigung wurde ein galvanisches Element genannt. Die Wirkung des letzteren vervielfältigte Volta, indem er eine größere Anzahl solcher Elemente zu seiner Säule verband.

Den ersten Bericht über diese, an Wichtigkeit von keiner anderen übertroffene Erfindung erstattete Volta im Jahre 1800[1]). Er teilt darin mit, daß es ihm im Verfolg seiner Versuche über die Erzeugung von Elektrizität durch bloße Berührung gelungen sei, einen neuen Apparat herzurichten. Dieser habe in sehr schwachem Maße die Wirkung der Leydener Flasche, andererseits übertreffe er die letztere aber darin, daß er nicht wie jene vorher mit fremder Elektrizität geladen werden müsse, sondern jedesmal wirke, wenn man ihn in geeigneter Weise berühre, wie oft auch die Berührung stattfinde. Dieser Apparat besitze seiner Wirkung und auch seiner Einrichtung nach viel mehr Ähnlichkeit mit dem elektrischen Organ des Zitterrochen als mit einer Leydener Flasche. Vorstehende Abb. 71 zeigt uns die erste Säule Voltas. Ihre Herstellung wird mit folgenden Worten beschrieben[2]): „Dreißig, vierzig, sechzig oder mehr Stücke Silber, von denen jedes auf ein Stück Zink gelegt wird, und die gleiche Anzahl mit Salzwasser oder Lauge getränkter Tuchstücke, diese Stücke zwischen

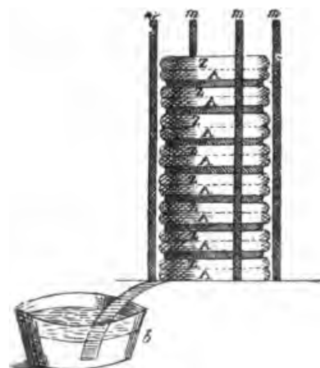


Abb. 71. Die erste Säule Voltas.

[1]) In einem an Banks, den Präsidenten der Royal Society, gerichteten Brief vom 20. März jenes Jahres. Dieser Brief wurde in den Philosophical Transactions, 1800, Seite 403 veröffentlicht. Er wurde auszugsweise im I. Bande ds. Grdr. wiedergegeben (siehe Abschn. 37 b).

[2]) Brief an Banks, Philosophical Transactions, 1800, Seite 403.

jede Verbindung der beiden Metalle geschaltet, eine derartige Folge der drei Leiter in stets gleicher Anordnung: das ist alles, woraus der neue Apparat zusammengesetzt ist.“ Außer der leichten Erschütterung, welche man erhielt, wenn man die Hände in die Gefäße b b tauchte und so den Stromkreis schloß, ließ sich auch eine Wirkung dieses Apparates auf die Geschmacks-, Gesichts- und Gehörnerven nachweisen.

Bei einer größeren Zahl von Platten war Volta gezwungen, entweder die Säule mit Stützen zu umgeben oder sie, wie die Abb. 72 es zeigt, in mehrere Teile zu zerlegen. Eine solche Säule

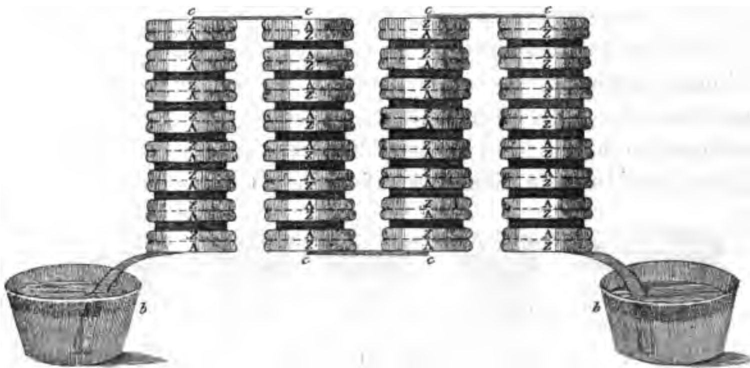


Abb. 72. Voltas aus vier Teilen zusammengesetzte Säule.

besaß nämlich die Unvollkommenheit, daß die Metallstücke durch ihr Gewicht die Tuchscheiben auspreßten, so daß die darin enthaltene Flüßigkeit schließlich die ganze Säule überzog und unwirksam machte. Volta war daher auf eine Anordnung bedacht, welche diesen Übelstand vermeidet; er brachte die Flüssigkeit in Bechern unter, in welche die durch den leitenden Bogen a verbundenen Metalle A und Z, wie aus Abb. 73 ersichtlich, eintauchten. Dieser Becherapparat, den Volta gleichfalls schon in dem an Banks gerichteten Briefe beschreibt, ist das Urbild für alle späteren galvanischen Batterien geworden.

Die Erfindung erregte nicht nur in England, sondern auch in Frankreich das größte Aufsehen. Auf Veranlassung des ersten Konsuls erschien Volta in Paris, wo er im November des Jahres 1801 einen Vortrag hielt. Die hervorragendsten französischen Gelehrten bildeten darauf einen Ausschuß, welcher auch

an Bonaparte Bericht erstatten mußte[1]). Dieser ließ für Volta eine goldene Medaille prägen und stiftete einen Ehrenpreis für die besten Arbeiten auf dem Gebiete der galvanischen Elektrizität.

Die englischen Physiker beeilten sich, Voltas Apparat zusammenzustellen und damit zu experimentieren, bevor noch der an Banks gerichtete Brief im Druck erschienen war. Dabei richtete sich ihre Aufmerksamkeit sofort auf die von Volta übersehenen, vielleicht auch in seiner Voreingenommenheit für die von ihm begründete Kontakttheorie nicht genügend beachteten chemischen Vorgänge. Der erste, der in England eine Säule nach Voltas Angaben zusammensetzte, war Carlisle[2]). Um eine bessere Berührung des Schließungsdrahtes mit der oberen Platte zu bewerkstelligen, hatte Carlisle die letztere mit einem Tropfen Wasser angefeuchtet. Dabei bemerkte er, daß sich um den Draht herum Gasbläschen bildeten. Um diese Erscheinung genauer zu verfolgen, führte Carlisle in Gemeinschaft mit Nicholson[3]) am 2. Mai



Abb. 78. Voltas Becherapparat, abgebildet in dem Brief an Banks[4]).

des Jahres 1800 den galvanischen Strom unter Anwendung von zwei Messingdrähten durch eine mit Wasser gefüllte Röhre[5]). Der Abstand zwischen den Enden der Drähte betrug $1^3/_4$ Zoll. Sogleich erhob sich an dem mit dem Silber verbundenen Drahte ein Strom kleiner Gasblasen, während die Spitze des anderen Drahtes anzulaufen begann. Jenes Gas wurde als Wasserstoff erkannt. Der Sauerstoff des Wassers hatte sich dagegen mit der Substanz desjenigen Drahtes verbunden, welcher zum Zink führte,

1) Bericht an die mathematisch-physikalische Klasse des französischen Nationalinstituts über Voltas galvanische Versuche. Siehe Gilberts Annalen X, 1802. Seite 389 ff. Ein Auszug des von Volta in Paris gehaltenen Vortrags in deutscher Übersetzung findet sich gleichfalls in Gilberts Annalen. Bd. X, Seite 421.

2) Anthony Carlisle (1768—1840), Professor der Anatomie in London.

3) William Nicholson (1753—1815), als Ingenieur und Schriftsteller in London tätig, auch bekannt als Erfinder des Gewichtsaräometers.

4) Philosoph. Transact. 1800, 403.

5) Gilberts Annalen, 1800, VI, 340.

und ein Anlaufen des Endes verursacht. Als man dann anstatt der Messingdrähte solche aus Platin wählte, ein Metall, mit dem der Sauerstoff sich nicht direkt verbindet, gelang es, beide Gase als solche aus dem Wasser abzuscheiden. Dieses war die erste, mit Hilfe des galvanischen Stromes bewirkte Zerlegung einer chemischen Verbindung, deren zusammengesetzte Natur man allerdings schon vorher erkannt hatte. Nichts lag daher näher, als das neue Hilfsmittel auf Stoffe bislang unbekannter chemischer Zusammensetzung anzuwenden, ein Weg, den wir wenige Jahre nach der Anstellung der soeben beschriebenen ersten Elektrolyse mit dem größten Erfolge den Engländer Davy beschreiten sehen.

Humphry Davy wurde am 17. Dezember 1778 zu Pensance in Cornwall geboren. In ärmlichen Verhältnissen aufgewachsen — sein Vater sorgte für sich und die Seinen durch Herstellung von Holzschnitten — wurde der junge Davy Gehilfe bei einem Chirurgen. Diesem mußte er auch bei der Herstellung von Arzneien zur Hand gehen. Auf solche Weise wurde in ihm ein Interesse an chemischen Vorgängen erweckt, das für seine spätere Laufbahn bestimmend werden sollte. Im Alter von 20 Jahren erhielt Davy eine Anstellung an einem Institut, das man in Bristol zu dem Zweck ins Leben gerufen hatte, um die Wirkungen gasförmiger Körper auf den Organismus zu prüfen. Davy machte hier die Beobachtung, daß das von Priestley[1]) dargestellte Stickoxydul (Lachgas) berauschend wirkt.

Bald nachdem die Kunde von Voltas Entdeckungen nach England gekommen war, wurde Davy als Professor der Chemie an die Royal Institution nach London berufen. Hier sehen wir ihn während des ersten Jahrzehnts des 19. Jahrhunderts eine außerordentliche Wirksamkeit entfalten, durch die er der Lehre vom Galvanismus eine neue Richtung gab. Nur die hervorragende, gleichzeitig das physikalische, wie das chemische Gebiet umfassende Forschertätigkeit eines Davy war im stande, die zahlreichen Irrtümer, welche jener Lehre infolge unrichtiger Auslegung der beobachteten elektrochemischen Vorgänge anhafteten, zu beseitigen. Der Elektrizität wurde damals alles mögliche und unmögliche zugeschrieben. Hielten es doch viele für ausgemacht, daß aus reinem Wasser und dem elektrischen Fluidum Salpetersäure, Salzsäure, Natron oder gar eine besondere elektrische Säure entstehen könne. Davy lieferte dagegen den Nachweis, daß in solchen Fällen das

---

1) Im Jahre 1772.

Wasser Verunreinigungen enthielt, durch deren Zersetzung die genannten Verbindungen entstanden waren, oder daß in anderen Fällen unter dem Einfluß der Elektrizität Bestandteile des Gefäßes an das Wasser abgegeben und zersetzt wurden.

Über eine Entdeckung von weittragendster Bedeutung berichtete Davy der Royal Society im Jahre 1807. Schon Lavoisier hatte die Vermutung ausgesprochen, daß man in den Alkalien und den Erden den Metallkalken ähnliche Verbindungen des Sauerstoffs mit bis dahin unbekannten Elementen zu erblicken habe. Alkali war auch die Substanz, welche aus der Wand des Glasgefäßes in das Wasser überging, wenn letzteres in einem solchen der Elektrolyse unterworfen ward. Was lag daher näher, als die zersetzende Kraft des galvanischen Stromes auf das Alkali selbst wirken zu lassen, um so das Dunkel, welches die chemische Natur dieser Verbindung einhüllte, zu lichten? In die fesselnden Einzelheiten des Verfahrens, welches Davy hierbei einschlug, ist der Leser bereits durch die Lektüre des I. Bandes eingeweiht[1]). Das Ergebnis dieser Versuche gipfelte darin, daß unter der gewaltigen Wirkung der aus mehreren hundert Plattenpaaren zusammengesetzten Batterie der Royal Institution aus dem Natron und dem Kali zwei neue Metalle, das Natrium und das Kalium, abgeschieden wurden, über deren wunderbare Eigenschaften Davy in derselben Vorlesung vom Jahre 1807 berichtet[2]). Bald darauf (1808) gelang ihm auch die Zerlegung von Kalk, Baryt, Strontian und Magnesia. Selten ist die Chemie mit einer solchen Fülle neuer Tatsachen bereichert worden, wie es innerhalb dieses kurzen Zeitraumes durch die Ergebnisse der elektrochemischen Untersuchungen Davys geschah. In dem galvanischen Strom hatte man das gewaltigste Agens kennen gelernt, ja die neu entdeckten Elemente waren, wie Davy sofort hervorhob, ihrerseits wieder geeignet, als kräftige Agentien Anwendung zu finden, da sie an Verwandtschaft zum Sauerstoff alle bekannten Elemente übertrafen und z. B. im stande waren, das Wasser ohne weiteres zu zerlegen.

Neben der zersetzenden Wirkung der Voltaschen Säule wandte sich das Interesse in steigendem Maße auch den innerhalb der

---

1) Siehe Band I, Abschnitt 47.

2) Davy, On some new Phenomena of chemical changes produced by electricity, particularly the decomposition of the fixed alkalies. Die Abhandlung wurde 1893 unter dem Titel „Elektrochemische Untersuchungen von Humphry Davy“ als 45. Band von Ostwalds Klassikern der exakten Wissenschaften herausgegeben. Leipzig, Verlag von Wilhelm Engelmann.

Säule zwischen den Metallen und den angewandten Flüssigkeiten vor sich gehenden chemischen Veränderungen zu. Während man letztere zuerst als etwas Nebensächliches betracht hatte, begann man jetzt in dem innerhalb der Kette sich abspielenden chemischen Vorgang die Ursache des elektrischen Stromes zu erblicken. Auch die Wärme- und die Lichtwirkung konnten, als man die Zahl der Platten vergrößerte, nicht verborgen bleiben. So war die Wärmeentwicklung, welche Davy erhielt, als er den Strom seiner aus einigen hundert Plattenpaaren zusammengesetzten Batterie durch Alkali leitete, groß genug, um letzteres zu schmelzen. Und als derselbe Forscher später[1]) eine Batterie von 2000 Elementen benutzte, zeigte sich an der Unterbrechungsstelle, zumal bei Anwendung von Kohlespitzen, ein äußerst blendendes Licht, das jedoch erst in der neuesten Zeit, seitdem man billigere Elektrizitätsquellen kennen gelernt hat, als Bogenlicht zu Beleuchtungszwecken Verwendung finden konnte.

Gleich der zuletzt erwähnten sind viele andere Entdeckungen Davys dem praktischen Leben zugute gekommen. Während seine Sicherheitslampe die Zahl der in den Kohlengruben stattfindenden Unglücksfälle erheblich verringerte, zeigt in neuester Zeit das von ihm entdeckte Kalium dem in dunkler Nacht ins Meer gespülten Schiffer den Weg zur Rettung[2]). Für Davys unvergleichliche Leistungen ist ihm auch reiche Anerkennung zu Teil geworden. Napoleon verlieh, obgleich er damals mit England im Kriege lag, dem genialen Manne einen jener Preise, die er für hervorragende Arbeiten auf dem Gebiete der galvanischen Elektrizität gestiftet hatte. In seinem Vaterlande wurde Davy geadelt und zum Präsidenten der Royal Society gewählt, ein Amt, welches er bekleidete, bis zunehmende Schwäche des Körpers ihn zum Rücktritt zwang. Auf einer zur Wiederherstellung der Gesundheit unternommenen Reise verschlimmerte sich sein Leiden. Er starb in Genf am 29. Mai des Jahres 1829.

Die ersten Beobachtungen, welche auf eine Beziehung zwischen der galvanischen Elektrizität und dem Magnetismus hindeuteten, wurden gleichfalls von Davy gemacht. Er fand nämlich, daß der zwischen den Kohleelektroden erzeugte Lichtbogen durch die Pole

---

1) Philosophical Transactions, 1821.

2) Eine mit Kalium gefüllte Büchse wird mit dem Rettungsgürtel verbunden; das Kalium entzündet sich, sobald es mit dem Wasser in Berührung kommt, und brennt mit intensivem Lichte.

eines starken Magneten angezogen und abgestoßen, ja sogar in eine Drehung versetzt werden kann. Es lag nahe, nun auch umgekehrt die Wirkung eines Stromes auf einen beweglich angebrachten Magneten nachzuweisen. Dies gelang dem dänischen Physiker Oersted[1]. In einer 1820 an die hervorragendsten Physiker und Gesellschaften gesandten kurzen Mitteilung[2], deren wichtigste Abschnitte dem Leser durch den I. Band bekannt geworden sind[3], berichtet Oersted, daß es ihm gelungen sei, eine deutliche Ablenkung der Magnetnadel durch den galvanischen Strom hervorzurufen. Oersted schloß daraus, daß der Strom nicht in dem Draht eingeschlossen ist, sondern sich zugleich in dem umgebenden Raum weithin ausbreitet.

Einer Wirkung des Stromes auf den Magneten mußte nach dem von Newton ausgesprochenen Grundgesetz eine gleichgroße Gegenwirkung des Magneten auf den Strom entsprechen. Von diesem Gedanken geleitet, bemühte sich der französische Physiker Ampère[4], eine Beziehung zwischen der Elektrizität und dem Magnetismus nachzuweisen. Zunächst galt es, den Stromleiter beweglich zu machen. Ampère erreichte dies, indem er dem Draht die Form eines Rechteckes gab und es so einrichtete, daß sich letzteres in zwei mit Quecksilber gefüllten Näpfchen aufhängen ließ. Ein solcher beweglicher Leiter wurde durch einen Magneten veranlaßt, sich senkrecht zur Verbindungslinie der Pole einzustellen. Infolgedessen nahm der Leiter, wenn nur der Erdmagnetismus auf ihn wirkte, eine solche Stellung ein, daß seine Ebene den magnetischen Meridian senkrecht schnitt[5].

Fast noch merkwürdiger als diese Resultate war der von Ampère kurze Zeit nach der Entdeckung Oersteds erbrachte Nachweis, daß zwei galvanische Ströme anziehend oder abstoßend aufeinander wirken, je nachdem sie gleich oder entgegengesetzt gerichtet sind. Durch die Entdeckung dieser Tatsache wurde

---

1) Hans Christian Oersted, geboren den 14. August 1777 auf Langeland, gestorben den 9. März 1851 zu Kopenhagen, Professor der Physik an der Kopenhagener Universität.

2) Experimenta circa effectum conflictus electrici in acum magneticam. 1820. Neuerdings herausgegeben als 63. Band von Ostwalds „Klassiker der exakten Wissenschaften". Leipzig, Verlag von Wilhelm Engelmann, 1895.

3) Siehe Band I, Abschnitt 51.

4) André-Marie Ampère wurde am 20. Januar 1775 zu Lyon geboren und starb am 10. Juni 1836 zu Marseille. Ampère lehrte an der École polytechnique zu Paris.

5) Ampère, Annales de chimie et de physique. T. XV. S. 188 ff.

Ampère zum Hauptbegründer der Elektrodynamik. Auch die Lehre vom Elektromagnetismus erfuhr durch ihn eine wichtige Erweiterung, indem er zeigte, daß ein vom Strome umflossener Eisenstab magnetisch ist.

Die Fülle überraschender Beziehungen zwischen der Elektrizität und dem Magnetismus führten ferner Ampère zu der Auffassung, daß ein Magnet aus von galvanischen Strömen umflossenen Teilchen bestehe und das Magnetisieren nichts weiter als ein Parallelmachen jener molekularen Strömen sei. Ein dieser Auffassung entsprechendes Bild des Magneten gibt Ampères Solenoid, eine beweglich aufgehängte, vom Strom durchflossene Drahtspirale. Letztere stellt sich den von Ampère entdeckten elektrodynamischen Gesetzen zufolge so ein, daß ihre Achse mit dem magnetischen Meridian zusammenfällt. Die Pole zweier Solenoide müssen nach denselben Gesetzen eine abstoßende oder anziehende Wirkung äußern, je nachdem das Kreisen der Ströme in den gegenüber befindlichen Enden in entgegengesetzter oder in gleicher Richtung erfolgt. Ein vorübergeführter Strom wird eine solche Spirale nach der von Ampère aufgestellten Schwimmerregel ablenken. Kurz, das Solenoid verhält sich, wie Ampère zur Bekräftigung seiner Theorie gezeigt hat, in jeder Hinsicht wie ein wahrer Magnet. Vergegenwärtigen wir uns noch einmal den Inhalt dieses Abschnitts, so finden wir, daß zu Beginn der zwanziger Jahre unseres Jahrhunderts die wesentlichsten Gebiete der Elektrizitätslehre mit Ausnahme der Induktion erschlossen wären. Die Entdeckung der letzteren sollte der unvergleichlichen Experimentierkunst eines Faraday vorbehalten bleiben, mit dessen grundlegenden Arbeiten wir uns in einem der nächsten Abschnitte beschäftigen werden.

3. Der insbesondere durch Laplace und Herschel bewirkte Aufschwung der Astronomie.

Eine so weitgehende Umgestaltung, beziehungsweise Erschließung ihrer Gebiete, wie sie zu Beginn der neuesten Periode die Chemie und die Physik erfuhren, hat die Geschichte der Astronomie nicht aufzuweisen. Ihr Lehrgebäude war durch die Arbeiten des 17. und des 18. Jahrhunderts so festbegründet, daß es sich im wesentlichen nur noch um den Ausbau im einzelnen und späterhin um eine Anwendung der physikalischen und chemischen Forschungsergebnisse auf diese Wissenschaft handeln konnte. Während wir

bisher jeden Abschnitt mit der Schilderung der astronomischen Fortschritte begannen, sei es, daß sie die Errungenschaften aller übrigen Wissenszweige übertrafen, sei es, daß sie letzteren erst Methode verliehen, mußte für den neuesten Zeitabschnitt der Physik und der Chemie, die nun ihrerseits für die Entwicklung der Astronomie bestimmend wurden, der Vorrang eingeräumt werden. Die Astronomie ruhte gegen das Ende des 18. und zu Beginn des 19. Jahrhunderts insbesondere in den Händen von Laplace und Herschel. Während der erstere, seine Untersuchungen vorwiegend auf unser Planetensystem beschränkend, das Erbe Newtons antrat und vervielfältigte, hat Herschel wie Humboldt sich ausdrückt[1]), das Senkblei zuerst in die Tiefen des Himmels geworfen. Wir werden ihn als den eigentlichen Begründer der Astronomie der Fixsterne kennen lernen.

Pierre Simon Laplace wurde am 28. März 1749 in einer kleinen Stadt der Normandie[2]) als der Sohn eines armen Landmannes geboren. Die außerordentliche Begabung, welche Laplace auszeichnete, leuchtet schon daraus hervor, daß er von seinem 18. bis zur Vollendung des 20. Lebensjahres mehrere Abhandlungen aus dem Gebiete der Integralrechnung veröffentlichte, die ihm den Ruf eines bedeutenden Mathematikers eintrugen. Laplace wurde infolgedessen zum Lehrer der Mathematik ernannt. Als solcher wirkte er zunächst in seiner Vaterstadt; bald darauf berief man ihn an die Militärschule zu Paris. Seit dieser Zeit stellte Laplace seine außerordentliche mathematische Befähigung vorzugsweise in den Dienst der theoretischen Astronomie, welche durch seine Untersuchungen erst in den Stand gesetzt wurde, eine befriedigende Erklärung der in unserem Planetensystem auftretenden säkularen Änderungen zu geben. Während manche Astronomen schon geneigt waren, gewisser, bei der Bewegung der Planeten in die Erscheinung tretender Umstände wegen eine nur annähernde Gültigkeit des Newtonschen Gravitationsgesetzes anzunehmen, lieferte Laplace, der sich dabei auf die Vorarbeiten Eulers stützen konnte, den Nachweis, daß, unter dem Gesichtspunkte des Problems von den drei Körpern, jene scheinbaren Abweichungen von der Regel letztere erst vollauf bestätigen. Newton selbst hatte nämlich nur die Bewegung eines Planeten um seinen Zentralkörper untersucht und gezeigt, daß sie in einem Kegelschnitte erfolgen muß.

---

1) Band I ds. Grdr., Seite 383.

2) Beaumont en Auge.

Das Problem der drei Körper war damit gegeben, daß bei dem Umlauf des Mondes um die Erde der Einfluß der Sonne in Rechnung zu stellen ist, um zu einer Übereinstimmung zwischen Theorie und Beobachtung zu gelangen. Diese Untersuchung hatte schon Euler beschäftigt und ihn zu Ergebnissen geführt, welche später den von Tobias Mayer entworfenen Mondtafeln als Unterlage dienten[1]). Das Hauptverdienst von Laplace bestand nun darin, daß er das Problem von den drei Körpern auch auf die Planeten und Kometen ausdehnte und eine Theorie der Störungen, d. h. der Abweichungen von der elliptischen Bahn, welche diese Himmelskörper durch ihre wechselseitige Anziehung erfahren, lieferte. Die strenge Lösung des Problems der drei Körper, welche auch heute noch die Kräfte der höheren Analysis übersteigt, vermochte Laplace jedoch nicht zu geben.

Eine seiner frühesten Abhandlungen aus dem Bereich der theoretischen Astronomie lieferte den wichtigen Nachweis, daß die mittlere Entfernung der Planeten von der Sonne zwar Änderungen erleidet, im Mittel jedoch konstant ist. Bald darauf wurde Laplace, kaum 24 Jahre alt, zum Mitglied der Akademie der Wissenschaften gewählt. Nachdem er ein Lehramt an der École normale erhalten, sehen wir ihn an den großen Aufgaben, mit welchen sich damals die französische Nation trotz der politischen Gärung beschäftigte, den hervorragendsten Anteil nehmen. So gehörte Laplace der aus dem Schoße der Akademie gewählten Kommission für Maß und Gewicht an, welche von der Nationalversammlung im Jahre 1790 den Auftrag erhielt, eine unveränderliche Grundlage für ein neues Maß- und Gewichtssystem in Vorschlag zu bringen. Die Bemühungen, das schon von Huygens hierfür in Aussicht genommene Sekundenpendel zu wählen, wurden durch Laplace gekreuzt. Letzterer, der offenbar eine neue Gradmessung wünschte, bestimmte die Kommission, von dem Meridianquadranten auszugehen. Die Akademie brachte daher im Jahre 1791 den zehnmillionsten Teil dieses Quadranten als Meter in Vorschlag. Unter dem Vorsitz von Laplace wurde später die École polytechnique, eine der hervorragendsten Pflanzstätten der französischen Wissenschaft, umgestaltet. Napoleon, welcher Laplace sehr schätzte, übertrug ihm sogar das Ministerium des Innern und erhob ihn in den Grafenstand. Auch nach der Restauration wurde Laplace mit Ehren überhäuft. Er schied am 5. März des Jahres 1827 mit

1) Siehe Seite 243 ds. Bds.

den Worten aus dem Leben: „Was wir wissen, ist wenig, aber was wir nicht wissen, ist ungeheuer viel.“

Von den Schriften dieses größten Astronomen, den Frankreich hervorgebracht, wurde später auf öffentliche Kosten eine Ausgabe veranstaltet[1]). Die ersten fünf Bände enthalten das von 1799—1825 erschienene Hauptwerk von Laplace, die „Mécanique céleste“. Ein hervorragender Geschichtsschreiber der Astronomie[2]) bezeichnet es als „eine unendlich ausgedehnte und bereicherte Ausgabe von Newtons Prinzipien“. Nach einer Ableitung der aus dem Gravitationsgesetze folgenden allgemeinen Gleichungen für die Bewegung der Himmelskörper entwickelt Laplace in diesem Werke seine schon erwähnte Theorie der Störungen. Hierbei bieten ihm die Beobachtungen an den einander benachbarten großen Planeten Saturn und Jupiter, deren Ungleichheiten auf den Einfluß, den diese Himmelskörper aufeinander ausüben, zurückgeführt werden, sowie die Beobachtungen an den Jupitermonden die willkommenste Unterlage für seine theoretischen Erwägungen. Da die Jupitertrabanten mit ihrem Zentralkörper ein Ganzes ausmachen, das dem Planetensystem sehr ähnlich ist, die Umläufe hier aber in verhältnismäßig kurzer Zeit erfolgen, so ließen diese Laplace in einem kurzen Zeitraume alle jene großen Veränderungen erkennen, welche im Planetensystem sich im Verlaufe von Jahrhunderten abspielen. War Newton noch geneigt, die trotz aller gegenseitigen Störungen im Sonnensystem offenbar vorhandene Stabilität auf übernatürliche Einflüsse zurückzuführen, so gelang es Laplace, diese Stabilität als eine Naturnotwendigkeit nachzuweisen und damit die der Gravitationsmechanik gestellte Aufgabe erst endgültig zu lösen.

Auch das Problem der Gezeiten, für welches Newton die erste, indes in mancher Hinsicht mit den Tatsachen noch nicht im Einklang befindliche theoretische Ableitung gegeben hatte, wurde durch Laplace zu einem gewissen Abschluß gebracht. Dabei stand ihm in den über mehrere Jahre sich erstreckenden täglichen Beobachtungen, welche auf Antrag der Akademie der Wissenschaften in den französischen Häfen, insbesondere in Brest, stattgefunden hatten, ein vortreffliches Material zur Verfügung, das er unter Anwendung der zur Zeit Newtons noch nicht entwickelten Prinzipien der Hydrodynamik bearbeitete. Es gelang

1) Laut Gesetz vom Jahre 1842.

2) Wolf, Geschichte der Astronomie, Seite 510.

ihm, Linien gleicher Flutzeit, die sogenannten Isorachien, zu ermitteln. Eine befriedigende Theorie der Gezeiten vermochte jedoch erst die vereinte Arbeit zahlreicher Beobachter und Theoretiker der neueren Zeit zu geben.

Einige Jahre vor dem Erscheinen der Mécanique céleste suchte Laplace die Ergebnisse der astronomischen Forschung in allgemein verständlicher Weise weiteren Kreisen zugänglich zu machen. So entstand seine „Darstellung des Weltsystems[1]), ein Werk, mit dem der Leser bereits durch die Lektüre des I. Bandes bekannt geworden ist[2]).

Mit dem Ausbau der Theorie des Planetensystems ging eine beträchtliche Erweiterung der Kenntnis desselben Hand in Hand. Schon Keppler hatte auf den verhältnismäßig großen Abstand hingewiesen, der sich zwischen den Bahnen des Mars und des Jupiter befindet. Angeregt durch Spekulationen, welche darauf abzielten, eine die Abstände der Planeten beherrschende Gesetzmäßigkeit zu finden, begann man mit dem Jahre 1800 den Tierkreis nach kleineren Wandelsternen zu durchsuchen. Den ersten Erfolg nach dieser Richtung hatte der Italiener Piazzi zu verzeichnen. Dieser Astronom richtete anfangs Januar 1801 sein Augenmerk auf einen Stern 8. Größe, welcher sich im Stier befand. Als er den Stern an den nächsten Abenden von neuem anvisierte, fand er, daß dieser seine Stellung zu den benachbarten Sternen verändert hatte, also offenbar ein Planet war. Das neue Gestirn erhielt den Namen „Ceres". Es wurde, nachdem Piazzi es aus den Augen verloren, von Olbers wieder entdeckt und in die Lücke zwischen Mars und Jupiter verwiesen. Dasselbe geschah mit einem zweiten von Olbers aufgefundenen Planeten, der Pallas. An diese reihte sich noch 1804 die Juno und 1807 die Vesta. Damit war der Anfang zur Entdeckung eines zwischen Mars und Jupiter befindlichen Planetenoidenringes gemacht, dessen Glieder, wie man nach der Anfertigung genauerer, die Sterne bis zur neunten Größe umfassenden Himmelskarten erkannte, nach hunderten zählen.

Eine fernere Erweiterung unserer Kenntnis des Planetensystems erfolgte durch den zweiten großen Vertreter, den die Astronomie in dieser Periode hatte, durch Wilhelm Herschel; sie bestand in der Entdeckung des Uranus. Da Herschel wie

---

1) Exposition du Système du Monde. Paris, 1796.

2) Siehe Bd. I ds. Grdr., Abschnitt 28.

kein anderer den Blick über die Grenzen des Planetensystems hinaus gerichtet hat und damit zum eigentlichen Begründer der Fixsternastronomie geworden ist, wollen wir uns hier mit seinem außergewöhnlichen Lebenslauf und seinen wissenschaftlichen Taten etwas eingehender beschäftigen.

Friedrich Wilhelm Herschel wurde am 15. November 1738 in Hannover geboren. Sein Vater war ein armer, mit zahlreichen Nachkommen gesegneter Musiker, der eine große Bewunderung für die Astronomie an den Tag legte. Herschels Schwester, deren Aufzeichnungen[1]) wir fast alles verdanken, was über die Jugend des großen Astronomen bekannt geworden ist, erzählt, der Vater habe sie in einer klaren Nacht auf die Straße geführt, um sie mit den schönsten Sternbildern bekannt zu machen. Auch sei er ihrem Bruder Wilhelm bei seinen Studien an die Hand gegangen. Letzterer war gleichfalls zum Musiker bestimmt. Ein lebhaftes Interesse für die Theorie seiner Kunst veranlaßte ihn, sich eingehend mit der Mathematik zu befassen. Fünfzehn Jahre alt, wurde Wilhelm Mitglied der Kapelle eines Regiments, mit dem er bald darauf[2]) nach England ging. Nachdem er seinen Dienst aufgegeben, bekleidete er eine Organistenstelle in Bath, wohin ihm seine Schwester Karoline folgte. Letztere hing mit schwärmerischer Bewunderung an dem Bruder und half ihm als treue Mitarbeiterin den Ruhm gewinnen, der seinen Namen später verherrlichen sollte. Trotzdem Herschel durch seine Stellung in Bath sehr in Anspruch genommen war, fand er doch Zeit zur Fortsetzung seiner Studien. Der Umstand, daß der Mann, welcher auf musiktheoretischem Gebiete[3]) sein Lieblingsschriftsteller war, auch ein Werk über Optik geschrieben, im Verein mit den Anregungen, die er in seiner Jugendzeit empfangen, führten Herschel dazu, daß er sich mit immer größerem Eifer und Verständnis der Astronomie zuwandte. „Als ich mit dieser Wissenschaft bekannt wurde", schrieb er später[4]), „faßte ich den Entschluß, nichts auf Treu und Glauben anzunehmen, sondern alles, was andere vor mir erblickt hatten, mit meinen eigenen Augen zu sehen." Da indes die Kosten der Anschaffung eines Fernrohrs zu bedeutend waren, beschloß

---

1) Karoline Herschels Memoiren und Briefwechsel. Deutsch von Scheibe. Berlin 1877.

2) Im Jahre 1757.

3) Smith, Harmonics.

4) In einem Brief vom 15. Februar 1783, abgedruckt im Göttinger Magazin der Wissenschaften und Literatur. III, 584.

Herschel, selbst ein solches anzufertigen. Nach vielen Mühen brachte er im 37. Jahre seines Lebens ein Spiegelteleskop zu stande, mit dem man den Saturnring erblicken konnte. Herschels Fleiß verdoppelte sich jetzt; sein ganzer Stolz bestand darin, Teleskope zu liefern, von denen immer eins das andere übertraf.

Einige kleinere astronomische Abhandlungen waren schon aus seiner Feder hervorgegangen, als er mit einem Schlage durch die Entdeckung eines neuen, jenseits des Saturn umlaufenden Planeten zum berühmten Manne wurde. Diese Entdeckung des Uranus erfolgte am 13. März des Jahres 1781. Es war ein astronomisches Ereignis, dem sich nichts ähnliches zur Seite stellen ließ. König Georg III., der eine Sternwarte besaß, ernannte Herschel, nachdem er dessen Teleskop gesehen und sich herausgestellt hatte, daß es die besten Instrumente übertraf, zum königlichen

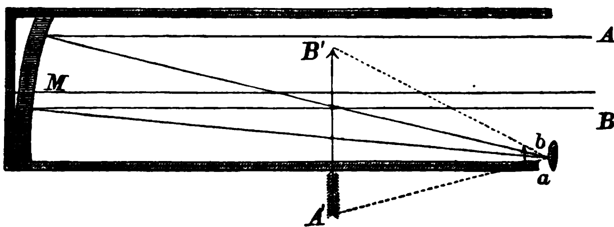


Abb. 74. Schema des von Herschel konstruierten Spiegelteleskops.

Astronomen. Herschel gab jetzt seine Stellung als Musiker auf und verließ Bath im Jahre 1782, um sich ausschließlich der Erforschung des Himmels zu widmen. Mit reichen Mitteln — der König stellte 4000 Pfund zur Verfügung — wurde jetzt ein Riesenteleskop geschaffen, dessen Bau mehrere Jahre (1785—1789) in Anspruch nahm. Die Konstruktion, die Herschel hierbei wählte, war eine eigenartige (siehe Abb. 74). Das neue Instrument besaß nämlich nur einen Spiegel, welcher beiläufig etwa 2000 Pfund wog und einen Durchmesser von 4 Fuß besaß. Dieser Spiegel M war gegen die Achse des Instruments ein wenig geneigt, so daß das Bild ab am unteren Rande der Öffnung entstand und dort durch das Okular betrachtet werden konnte. Allerdings ging hierbei ein Teil des Lichtes verloren, da der Beobachter in das Rohr von vorn hineinschauen mußte. Doch war dieser Verlust bei genügendem Durchmesser des Spiegels nicht so beträchtlich, um die Konstruktion in Frage zu stellen.

Bis zu seinem am 25. August des Jahres 1822 erfolgten Tode blieb Herschel auf der in der Nähe von Windsor errichteten Sternwarte unermüdlich mit der Durchmusterung des Himmels beschäftigt. Diese Arbeitsstätte verließ er nur, um von Zeit zu Zeit der Royal Society über die Ergebnisse seiner Forschungen, denen wir uns jetzt zuwenden wollen, zu berichten.

Zunächst reihte sich an die Auffindung des Uranus noch manche wertvolle, unser Planetensystem betreffende Beobachtung. So entdeckte Herschel mehrere Trabanten dieses Hauptplaneten, sowie den ersten und den zweiten Mond des Saturn. Für diesen Planeten hatte bekanntlich Huygens zuerst die Existenz eines Trabanten, und zwar des sechsten, nachgewiesen. Die gleichfalls von Huygens entdeckten weißen Flecke an den Marspolen fand Herschel abhängig von den Jahreszeiten des Mars, für den er eine an irdische Verhältnisse erinnernde Beschaffenheit nachzuweisen vermochte [1]). Während schon Cassini im stande war, die Rotationszeit des Jupiter aus der Beobachtung gewisser Flecken dieses Planeten zu ermitteln, gelang erst Herschel die Lösung der gleichen Aufgabe für den Saturn [2]). Zum Zentralkörper unseres Systems übergehend, suchte Herschel sowohl dessen physische Natur als dessen Bewegung und augenblickliche Stellung im Weltraum zu bestimmen. Seine Theorie über die Beschaffenheit des Sonnenkörpers, welche er auf die Beobachtung der Flecken gründete, hat jedoch die Mitte des 19. Jahrhunderts nicht überlebt. Herschel verließ nämlich die alte, heute wieder als richtig geltende Ansicht, daß wir es in der Sonne mit einem Körper von sehr hoher Temperatur zu tun haben. Er nahm an, daß sie aus einem festen, nicht leuchtenden, vielleicht bewohnbaren Kern bestehe, der von einer durchsichtigen Atmosphäre und einer darüber befindlichen lichtspendenden Photosphäre umgeben sei. Herschels Theorie gemäß entsteht ein Sonnenfleck, indem jene Photosphäre infolge aufsteigender Dämpfe zerreißt und der dunkle Körper der Sonne zum Vorschein kommt.

Da es gelungen war, an den Fixsternen eine Eigenbewegung nachzuweisen, so lag der Gedanke nahe, daß auch unsere Sonne mit all' ihren Planeten, Monden und Kometen eine nach einem bestimmten Punkte des Himmels gerichtete Bewegung besitze.

---

1) Herschel, On the remarkable appearances at the polar regions of the Planet Mars. 1784.

2) Nach seiner Angabe beträgt die Rotationszeit des Saturn 10 Stunden 29 Minuten.

Eine solche würde ein scheinbares Auseinanderweichen der in der Richtung dieser Bewegung befindlichen Fixsterne, sowie ein Zusammenrücken der Sterne in der Nähe des entgegengesetzten Punktes zur Folge haben. Es gelang Herschel[1]), derartige Veränderungen, welche ein Fortschreiten des Sonnensystems erkennen lassen und sich mit den wirklichen Eigenbewegungen der Fixsterne kombinieren, nachzuweisen. Der von ihm ermittelte Punkt, dem sich die Sonne nähert, liegt, wie auch die späteren Untersuchungen

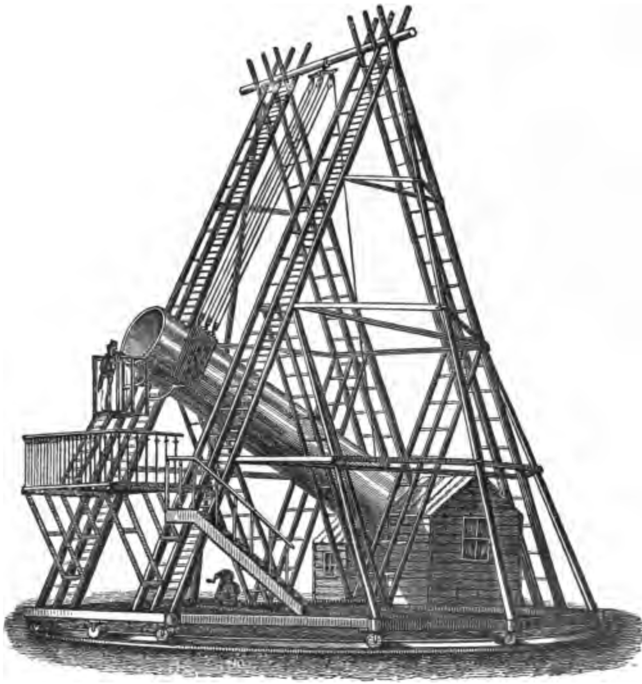


Abb. 75. Der von Herschel in den Jahren 1785—1789 erbaute vierzigfüßige Reflektor[2]).

bestätigt haben, im Sternbilde des Herkules. Obgleich die Größe der Sonnenbewegung wahrscheinlich mehrere tausend Meilen in der Stunde beträgt, werden doch noch lange Zeiträume verfließen, bis der vielleicht um einen weit entfernten Schwerpunkt erfolgende Umlauf unseres Zentralkörpers erkannt sein wird.

1) Herschel, On the proper motion of the Sun and the Solar System. 1783

2) Philosophical Transactions. 1795. II. Tab. XXIV.

Eng verknüpft mit dem Problem der Sonnenbewegung ist der gleichfalls von Herschel erbrachte Nachweis, daß die von den früheren Astronomen für nur scheinbar benachbart gehaltenen Doppelsterne, wie aus der Veränderung ihrer gegenseitigen Lage hervorgeht, wirklich zusammengehören und binäre Systeme bilden. Herschel hat nicht weniger als 846 Doppelsterne katalogisiert. Spätere Forschungen haben dann ergeben, daß die Bewegung innerhalb solcher binären Systeme nach dem Gravitationsgesetz erfolgt, welches damit als das wahre Weltgesetz erkannt war.

Bislang hatte man die Fixsterne wenigstens so betrachtet, als ob sie über die Fläche einer Kugel verteilt wären. Seit Herschel beginnt die Astronomie sich mit der räumlichen Verteilung dieser Weltkörper zu beschäftigen. Schon vor ihm hatte die Milchstraße und die Anordnung der außerhalb der Milchstraße befindlichen Sterne das Nachdenken eines Kant[1]) erregt. Jedoch erst Herschel setzte an die Stelle bloßer Vermutungen den auf systematisch angestellten Beobachtungen, seinen sogenannten Aichungen, gegründeten Nachweis, daß die deutlich sichtbaren Sterne samt der Milchstraße — ein Komplex von etwa 20 Millionen Weltkörpern — einen linsenförmigen Haufen bilden und die Sonne sich etwas außerhalb der Mitte desselben befindet. Diesen Nachweis lieferte er in einer „Über den Bau des Himmels“ betitelten Schrift, deren wesentlichsten Inhalt der Leser durch die Lektüre des I. Bandes bereits kennen gelernt hat[2]).

Ein anderes Objekt, dem Herschel seine Aufmerksamkeit in besonderem Grade schenkte, um dann in der soeben genannten Schrift an seine Beobachtungen die kühnsten Folgerungen anzuknüpfen, sind die Himmelsnebel, Lichtwölkchen, welche auch das schärfste Fernrohr nicht in Sterne aufzulösen vermag. Herschel wies zunächst die große Häufigkeit dieser Gebilde nach. Während Halley nur sechs Nebel bekannt waren und ein späteres Verzeichnis[3]) etwa 100 Nummern erhielt, werden in den Jahren 1786 bis 1802 von Herschel etwa 2500 Nebelflecke katalogisiert,

---

1) Siehe Bd. I dieses Grundrisses, Abschnitt 27.

2) Herschel, On the construction of the heavens. Phil. Trans. 1784. Eine Übersetzung mit einem nach Kants Durchsicht hergestellten Auszug aus Kants Naturgeschichte des Himmels erschien 1791. Siehe Band I ds. Grdr., Abschnitt 29.

3) Messier in den Abhandlungen der Pariser Akademie der Wissenschaften vom Jahre 1771. S. 435. Catalogue des nébuleuses et des amas d'étoiles, observées à Paris par M. Messier.

beschrieben und gezeichnet. Eine Fortsetzung dieser Studien verdanken wir Herschels Sohn John, welcher auf einer Expedition[1]) nach dem Kap eine fast ebenso große Zahl von Nebelflecken am südlichen Himmel entdeckte. Zuerst hielt Herschel sämtliche Bildungen dieser Art für Sternhaufen, da sich viele bei Anwendung stärkerer Vergrößerungen in solche auflösen ließen. Als er jedoch auch deutliche Sterne entdeckte, welche von einem Nebel umgeben waren, der offenbar zu dem Sterne in Beziehung stand, nahm er an, daß es sich hier um leuchtende Gasmassen handele, welche auch, ohne einen Stern zu umschließen, existieren und die Urmaterie zur Bildung neuer Himmelskörper sind. Dementsprechend glaubte Herschel, in dem Zustande, den uns der Fixsternhimmel gegenwärtig darbietet, sämtliche Stufen des Weltbildungsprozesses nachweisen zu können. Spätere, insbesondere spektroskopische Forschungen haben die Richtigkeit dieser kühnen Schlüsse dargetan.

Die Betrachtungen, welche Herschel über die Abmessungen des mit seinem Teleskop durchforschten Raumes anstellte, lieferten, obgleich die damals angenommenen Fixsternparallaxen zu groß, die entsprechenden Entfernungen daher zu klein waren, den Nachweis, daß das Licht, um von den enferntesten Objekten des Himmels zu uns zu gelangen, viele tausend Jahre gebraucht, so daß unsere Teleskope nicht allein den Raum, sondern auch die Zeit durchdringen. Anknüpfend an die von Herschel erhaltenen Ergebnisse konnte deshalb Humboldt[2]) sagen, daß das Licht der fernsten Weltkörper das älteste sinnliche Zeugnis von dem Dasein der Materie sei.

Als man die Jahrhundertfeier der Uranusentdeckung durch die Herausgabe einer Biographie Herschels[3]) beging, wurde darin mit Recht hervorgehoben, daß an Herschels Ansicht über den Bau des Himmels nur wenig zu ändern gewesen sei. „Jede astronomische Entdeckung“, heißt es dort[4]), „und jede gut beobachtete physikalische Tatsache gibt Material für die Ausarbeitung der Einzelheiten oder für die Verbesserung untergeordneter Punkte dieser Ansicht. Als wissenschaftliche Auffassung ist sie vielleicht die großartigste, welche jemals der menschliche Geist gewonnen hat.“

1) 1834—1838.

2) Siehe Bd. I, Seite 384.

3) Holden, Wilhelm Herschel, Sein Leben und seine Werke. Übersetzt von Valentiner, Berlin 1882.

4) a. a. O. Seite 214.

Ein Versuch, auf deduktivem Wege zu einer Vorstellung von dem Weltbildungsprozesse, insbesondere der Entstehung unseres Planetensystems, zu gelangen, wurde schon mehrere Jahrzehnte vor dem Erscheinen von Herschels „Bau des Himmels" in Deutschland durch Immanuel Kant (1724—1804) gemacht. In seiner „allgemeinen Naturgeschichte und Theorie des Himmels", mit welcher der Leser durch den ersten Band bekannt geworden ist[1]), nimmt Kant als Urzustand die feinste Verteilung der Materie durch den ganzen Weltraum an, weshalb man seine Ansicht auch als Nebularhypothese bezeichnet hat. Infolge der Gravitation bilden sich dann Zentralkörper. Die benachbarte Materie verdichtet sich gleichfalls um besondere Bildungsmittelpunkte und nähert sich, durch die allgemeine Anziehung getrieben, dem Zentrum. Gäbe es nur Anziehung, so müßte eine Vereinigung des Zentralkörpers mit den um besondere Punkte sich anhäufenden Massen stattfinden. Unter dem Einfluß einer der Materie gleichfalls innewohnenden abstoßenden Kraft werden die herabsinkenden Massen aber abgelenkt. Der Fall schlägt in eine Wirbelbewegung um, woraus nach Kant die Tatsache ihre Erklärung findet, daß sämtliche Planeten in nahezu einer Ebene und in derselben Richtung um die Sonne kreisen[2]).

Ähnliche Anschauungen entwickelte etwa vierzig Jahre später Laplace in seiner „Darstellung des Weltsystems". Auch mit den Betrachtungen dieses Mannes ist der Leser bereits durch den I. Band bekannt geworden[3]). Laplace gibt indessen für das Zustandekommen der Rotation keine Erklärung; er geht von einem in Drehung begriffenen Gasball aus, gelangt aber im wesentlichen zu demselben Ergebnis wie Kant. Beiden Hypothesen gemeinsam ist der Gedanke, daß die Gestirne, die sich die früheren Zeitalter aus ganz besonderem Stoff gebildet dachten, in materieller Hinsicht untereinander und von der Erde nicht wesentlich verschieden sind. Dieses Ergebnis einer spekulativen Naturbetrachtung sollte nicht nur durch die spätere spektroskopische Untersuchung, sondern auch durch die noch im Zeitalter von Herschel und Laplace erfolgende richtige Deutung der Meteoriten ihre Bestätigung finden.

---

1) Siehe Band I ds. Grdr., Abschnitt 27.

2) In Wahrheit ist die erste Ursache der Rotation durch Kants Annahme nicht erklärt. Laplace gesteht die Unzulänglichkeit der Hypothese in diesem Punkte auch ganz offen ein.

3) Siehe Bd. I, Abschnitt 28.

Nachrichten über vom Himmel gefallene Stein- und Eisenmassen reichen bis ins graue Altertum zurück, ohne daß dadurch bis gegen das 18. Jahrhundert das wissenschaftliche Interesse erregt worden wäre. Um die Mitte jenes Zeitabschnitts waren zwei auffallende Tatsachen zu verzeichnen. Der Sibirien bereisende deutsche Naturforscher Pallas entdeckte 1749 in der Nähe des Jenissei eine 1600 Pfund schwere Eisenmasse, deren Beschaffenheit und Vorkommen darauf hinwiesen, daß man es in ihr mit einem Naturerzeugnis zu tun habe[1]). Ferner hatte in Agram im Jahre 1751 einer der am besten beglaubigten Meteoreisenfälle[2]) stattgefunden. Das daselbst gefallene Stück war ausgegraben und dem Wiener Naturalienkabinett einverleibt worden. Der Leiter dieses Instituts wies jedoch die Meinung, daß die Masse überhaupt gefallen sei, mit Spott zurück. Seiner Ansicht nach sollte sich das Eisen unter dem Einfluß der atmosphärischen Elektrizität aus Bestandteilen des Bodens gebildet haben.

In einer 1794 erschienenen Abhandlung, deren Inhalt der Leser der Hauptsache nach durch den I. Band kennen gelernt hat[3]), wagte es der deutsche Physiker Chladni, im Gegensatz zu allen gelehrten Zeitgenossen, für die Feuerkugeln einen kosmischen Ursprung zu behaupten und die von Pallas entdeckte und ähnliche Eisenmassen als den Stoff solcher niedergefallenen Feuerkugeln in Anspruch zu nehmen. Chladni wurde zunächst mit Hohn überschüttet. Die französische Akademie sprach sich trotz aller gut beglaubigten Fälle dahin aus, daß die Nachrichten über derartige Naturerscheinungen in das Gebiet der Fabel zu verweisen seien. Sie wurde indes sehr bald durch die Tatsachen selbst eines Besseren belehrt. In der Normandie trat nämlich am 26. April des Jahres 1803 ein großer Steinfall ein, der von hunderten beobachtet und von Abgesandten der Akademie selbst in seinen Einzelheiten festgestellt wurde[4]). Die Ausführungen Chladnis wurden nun allgemein als richtig anerkannt. Ja, man ging jetzt in entgegengesetzter Richtung so weit, daß man sich die Weltkörper durch die Anhäufung von Meteoriten entstanden dachte[5]).

---

1) Ein großes Stück des Pallaseisens findet sich in den Königlichen Sammlungen zu Berlin.

2) Siehe Bd. I ds. Grdr., Seite 159.

3) Siehe Bd. I, Abschnitt 30.

4) Gilberts Annalen 15,$_{74}$ und 16,$_{44}$, $_{70}$.

5) Bieberstein 1802.

Die chemische Analyse war damals weit genug fortgeschritten, um an den Meteoriten unter der Voraussetzung ihres kosmischen Ursprunges den Nachweis zu führen, daß außerhalb der Erde befindlicher Weltstoff in seiner elementaren Zusammensetzung mit der irdischen Materie vollkommen übereinstimmt. So entdeckte man [1]), daß das Meteoreisen stets mehr oder weniger Nickel (bis zu 35%) enthält, und lernte den Gehalt an diesem Metall, sowie die beim Anätzen auftretenden Widmannstättenschen Figuren (von Widmannstätten 1808 entdeckt; er druckte mit den geätzten Flächen die Figuren naturgetreu ab) [2]) als besondere Eigentümlichkeiten des Meteoreisens kennen. Nachdem man neben Nickel auch Kobalt und Kupfer darin aufgefunden hatte, wurden durch eine Arbeit, welche Berzelius über die Meteoriten veröffentlichte, sechs neue Elemente in ihnen nachgewiesen; es waren dies Phosphor, Kohlenstoff, Silicium, Magnesium, Zinn und Mangan. Spätere Untersuchungen haben die Zahl der Bestandteile, welche sämtlich mit irdischen Grundstoffen übereinstimmen, noch vermehrt [3]).

Was Chladni für die Meteoriten leistete, gelang zwei anderen Deutschen namens Benzenberg [4]) und Brandes [5]) hinsichtlich der Sternschnuppen. Durch gleichzeitig an verschiedenen Punkten der Erde angestellte Beobachtungen gelang es ihnen, auch für diese Phänomene, welche man bis dahin auf schweflige Dünste oder brennbare Gase zurückgeführt hatte, einen kosmischen Ursprung nachzuweisen. Benzenberg und Brandes beobachteten Sternschnuppenfälle von den Endpunkten einer 27050 Pariser Fuß langen Standlinie. Indem sie den Ort und die Zeit des Verschwindens genau anmerkten, vermochten sie in vielen Fällen, die Identität der beobachteten Objekte nachzuweisen und aus den gewonnenen Daten planetarische Geschwindigkeiten, sowie auf einen kosmischen Ursprung hinweisende Höhen zu ermitteln [6]).

War es der vorhergehenden Periode durch Bradleys Entdeckung der Aberration gelungen, einen sinnlichen Beweis für die Bewegung der Erde um die Sonne zu erbringen, so vermochte

---

1) Howard 1802.

2) G. Rose, Abhandlungen der Berliner Akademie der Wissenschaften. 1863. Seite 33.

3) Siehe Bd. I, Seite 163.

4) Johann Friedrich Benzenberg, 1777—1846.

5) Heinrich Wilhelm Brandes, 1777—1834.

6) Benzenberg und Brandes, Versuch, die Entfernung, die Geschwindigkeit und die Bahnen der Sternschnuppen zu bestimmen. 1800.

Benzenberg, nachdem alle bezüglichen Versuche anderer Forscher mißglückt waren, einen solchen Nachweis auch für die Rotation zu führen. Bekanntlich bestand einer der Scheingründe gegen die kopernikanische Weltansicht in der Folgerung, ein frei fallender Körper müsse, da die Erde sich unter ihm fortbewege, einen westlich von seinem Ausgangspunkt gelegenen Ort treffen. Newton wies jedoch darauf hin, daß bei dem freien Fall infolge des Beharrungsvermögens und der größeren Geschwindigkeit in tangentialer Richtung, welche der Körper zu Beginn der Fallbewegung besitzt, im Gegenteil eine östliche Abweichung zu erwarten sei. Den Nachweis für die Richtigkeit dieser von der Theorie erhobenen Forderung erbrachte Benzenberg durch seine 1802 im Michaelisturm zu Hamburg, sowie in einem rheinischen Kohlenschachte angestellten Fallversuche[1]). Bei einer Höhe von 235, beziehungsweise 262 Fuß ergab sich eine deutliche Abweichung von mehreren Linien. Spätere zu dem gleichen Zwecke angestellte Versuche[2]) zeigten bei einer Fallhöhe von 488 Fuß eine östliche, der Theorie entsprechende Abweichung von 12,6 Linien.

4. Die weiteren Fortschritte der chemisch-physikalischen Forschung während der ersten Jahrzehnte der neuesten Zeit.

In den beiden ersten diese Periode behandelnden Abschnitten lernten wir Umwälzungen und Erweiterungen von epochemachender Bedeutung kennen, welche wohl im stande waren, ein neues Zeitalter zu eröffnen. Letzteres ist unter anderem auch dadurch gekennzeichnet, daß die Physik und die Chemie, seitdem man den Zusammenhang zwischen chemischen Vorgängen und den elektrischen, sowie den Wärme- und Lichterscheinungen erkannt hatte, in immer engere Fühlung treten. Dies hatte eine Fülle von grundlegenden Entdeckungen zur Folge, welche uns in dem vorliegenden Abschnitt beschäftigen sollen, Entdeckungen, auf denen die um die Mitte des Jahrhunderts entstandene großartige Konzeption von der Einheit der Kraft, sowie unsere heutigen Vorstellungen von dem Wesen der Materie in erster Linie beruhen. Im engsten Anschluß an diesen Fortschritt entstanden ferner Theorien, welche sich zu einem bleibenden Besitz der Wissenschaft

1) Benzenberg, Versuche über das Gesetz des Falles. Dortmund 1804.
2) Von Reich in einem Schacht bei Freiberg.

gestaltet haben. Diese Theorieen betrafen insbesondere das Gebiet der Wärme- und der Lichterscheinungen, auf dem die früher erläuterte Lehre[1]) von den Imponderabilien durch eine auf mechanischen Grundsätzen fußende Erklärung ersetzt wurde.

Die Vorstellung, daß wir es in der Wärme nicht mit einem Stoff, sondern mit einer Bewegung der kleinsten Teilchen zu tun haben, begegnet uns, allerdings in bloßen Andeutungen[2]), schon im Beginn der neueren Periode. Die ersten, für die seit der Mitte des 19. Jahrhunderts zur Herrschaft gelangende mechanische Theorie der Wärme als grundlegend zu betrachtenden Versuche und Folgerungen gehören indes jener Zeit an, in welcher der jetzt zu schildernde großartige Aufschwung der Chemie und der Physik beginnt. Am erfolgreichsten nach dieser Richtung waren die Bemühungen des Amerikaners Rumford[3]). Dieser wiederholte zunächst den schon von Boyle angestellten, gegen die Stoffnatur der Wärme gedeuteten Wägungsversuch. Rumford setzte zwei Flaschen, welche gleiche Mengen Quecksilber und Wasser enthielten, genau ins Gleichgewicht, während die Temperatur der Umgebung 61° betrug. Das Ganze wurde dann in ein Zimmer gebracht, welches eine Temperatur von 34° besaß. Obgleich nun das Wasser, dessen spezifische Wärme etwa 30 mal so groß ist wie diejenige des Quecksilbers, eine viel größere Wärmemenge abgegeben hatte als die letztere Flüssigkeit, zeigte sich dennoch nicht der geringste Ausschlag[4]).

Wollte man trotzdem an der stofflichen Beschaffenheit der Wärme festhalten, so mußte man wenigstens annehmen, daß ein isoliertes System von Körpern nicht beständig der Umgebung Wärme mitteilen kann, ohne allmählich erschöpft zu werden. Indem Rumford nur durch den Versuch bewies, daß durch gegenseitige Reibung zweier Körper unbegrenzte Wärmemengen erzeugt werden, entzog er der soeben erwähnten Voraussetzung von der stofflichen Natur der Wärme den Boden. Über diesen berühmt gewordenen Versuch berichtet Rumford der Royal Society

---

[1]) Siehe Seite 258 ds. Bds.

[2]) So bei Baco und insbesondere bei Hooke. Siehe die Micrographie des letzteren, pg. 12 (London 1667).

[3]) Benjamin Thompson wurde in Rumford (New Hampshire) am 26. März 1753 geboren und starb auf einem Landsitz bei Paris am 21. August 1814. Während seines wechselvollen Lebens bekleidete er eine Zeitlang hohe Staatsämter in Bayern, wo er den Titel eines Grafen von Rumford erhielt.

[4]) Philosophical Transactions. 1799.

im Jahre 1798[1]. „Da ich seit kurzem“, beginnt er, „die Oberaufsicht beim Kanonenbohren im Zeughause zu München hatte, so überraschte mich der beträchtliche Wärmegrad, den eine Kanone in kurzer Zeit beim Bohren erhält.“ Wäre die spezifische Wärme der Späne eine geringere als diejenige des zusammenhängenden Metalles, so hätte man das Auftreten der Wärme auf einen solchen Unterschied der Kapazitäten zurückführen können. Der Versuch ergab jedoch, daß Stücke und feine Spänchen eines Metalles dieselbe spezifische Wärme besitzen. Brachte man nämlich gleiche Mengen der Spänchen und der Stücke, welche auf die Temperatur des kochenden Wassers erhitzt waren, in gleiche Mengen kalten

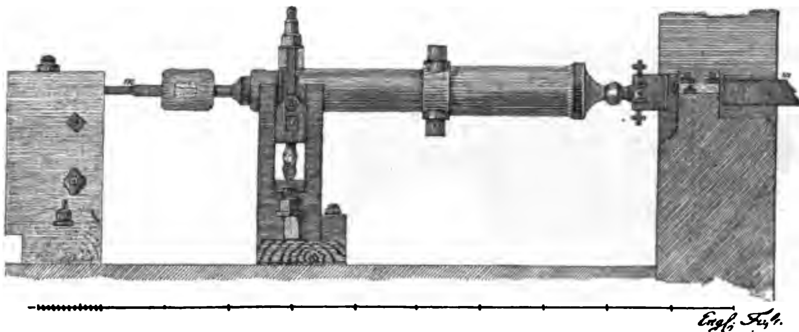


Abb. 76. **Die für Rumfords Versuch hergerichtete und in die Bohrmaschine gespannte Kanone. Die Stange w verbindet die Kanone mit dem Göpel.**

Wassers, so erfuhr das letztere in beiden Fällen dieselbe Temperaturerhöhung.

Da chemische Vorgänge, sowie irgend welche Zuleitung von Wärme bei den Bohrversuchen ausgeschlossen waren, so blieb nichts anderes übrig, als die Ursache der Wärmeentwicklung in der Bewegung zu erblicken. Die weiteren Versuche bezweckten nun den Nachweis, daß diese Wärmequelle nicht versiegt, solange die Bewegung dauert. Hieran schloß sich schon das erste Aufdämmern der Erkenntnis, daß einem gewissen Aufwand an Arbeit eine bestimmte Menge erzeugter Wärme entspricht. Rumford ließ nämlich einen aus Kanonenmetall bestehenden Cylinder von 113,13 Pfund Gewicht in einem Kasten (Fig. 77) rotieren, welcher 18,77 Pfund Wasser enthielt. Wurde die Drehung, bei der ein stumpfer eiserner Bohrer m n gegen das Metall gepreßt war, durch die Kraft eines Pferdes bewerkstelligt, so kochte das Wasser nach

1) Philosophical Transactions. 25. I. 1798.

2 Stunden und 30 Minuten. „Die Überraschung und das Staunen der Umstehenden, solch eine Wassermasse ohne Feuer zum Kochen gebracht zu sehen, war über alle Beschreibung groß“, heißt es in dem Berichte Rumfords[1]). Die Rechnung ergab nun, daß die ganze Menge der erzeugten Wärme, welche sich auf das Wasser und die Metallstücke verteilte, hinreichend war, um 26,58 Pfund eiskalten Wassers zum Sieden zu bringen, ungerechnet diejenige Wärme, welche während des Versuches verloren ging. Diese Wärmemenge entspricht also nach Rumford einer Pferdekraft. Da nun nach Watt die letztere im stande ist, 33000 Pfund in der Minute einen Fuß hoch zu heben, so würde eine weitere Berechnung gezeigt haben, daß diejenige Wärme, welche ein Pfund Wasser um 1° erwärmt, einer mechanischen Leistung von 1034 Fußpfund entspricht. Spätere, genauere Untersuchungen, welche der Engländer Joule anstellte, haben für dieses Äquivalent den Wert von 772 Fußpfund ergeben. Der beträchtliche Unterschied wird daraus erklärlich, daß Rumford die Versuche nicht in Rechnung zog, und daß bezüglich des Arbeitsaufwandes nur eine rohe Annäherung an die von Watt als eine Pferdekraft bestimmte Größe vorlag.

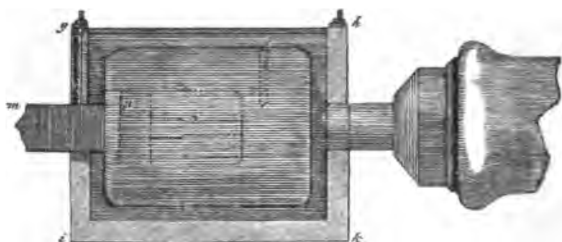


Abb. 77. Der vor der Mündung der Kanone angebrachte hölzerne Kasten. Der stumpfe Bohrer m n wird gegen den Boden des ausgebohrten hohlen Cylinders gepreßt, welcher durch einen kurzen Hals mit dem Ende der Kanone verbunden ist.
Die Abbildungen 76 und 77 sind der unten erwähnten Abhandlung Rumfords entnommen.

Von gleicher Beweiskraft für die Immaterialität der Wärme wie diese Rumfordschen Experimente war ein von Davy angestellter Versuch. In seinen 1799 veröffentlichten[2]) „Untersuchungen über Wärme, Licht und Atmung“ teilte dieser Forscher mit, daß er bei 29° Fahrenheit, also einer unter dem Gefrierpunkt liegenden

1) Rumford, Untersuchung der durch Friktion hervorgebrachten Wärme, vorgelesen in der Königl. Sozietät der Wissenschaften, den 25. Januar 1798.
2) In den „Contributions to phys. and medic. knowledge“ collect. by Beddoes. 1799.

Temperatur, zwei an Stäben befestigte Eisstücke durch gegenseitige Reibung zum Schmelzen gebracht habe[1]). Obgleich die Wärmekapazität des Schmelzwassers größer ist als diejenige von Eis, zeigte das erhaltene Wasser dennoch eine Temperatur von 35° Fahrenheit. Auch Davy schloß hieraus, daß die Wärme kein Stoff, sondern eine unmittelbare Folge der Bewegung sei. Er dachte sich die Materie von zwei Kräften, der Anziehung und der Abstoßung, beherrscht. Die Erscheinungen der Wärme rühren nach Davy, dessen Vorstellungen sich im wesentlichen mit den heute geltenden Anschauungen decken, von einer besonderen Bewegung der Körperteilchen her. Alle festen Körper werden durch heftiges Reiben ausgedehnt, indem ihre Teilchen in schwingende Bewegung kommen und sich dadurch voneinander entfernen. Die verschiedenen Aggregatszustände werden gleichfalls ganz im Sinne der neueren Physik aus dem Verhältnis zwischen Anziehung und Abstoßung erklärt. Je nachdem die erstere oder die letztere überwiegt oder beide gleich sind, ist der Körper fest, gasförmig oder flüssig. Die Abstoßung kann durch chemische Vorgänge oder durch Mitteilung des Bewegungszustandes benachbarter Körper erregt werden. In letzterem Falle ist die Bewegungsgröße, welche der eine Körper gewinnt, genau gleich derjenigen, welche der andere verliert. Rumford und Davy waren jedoch ihrer Zeit voraus geeilt. Die von ihnen entwickelte Lehre sollte erst um die Mitte des 19. Jahrhunderts durch Mayer, Joule und Helmholtz erneuert und fortentwickelt werden.

Fast zur selben Zeit, als man in Deutschland und in England jene über die Natur der Körperwärme entscheidenden Versuche anstellte, wurde auch die Lehre von der strahlenden Wärme, welche man schon länger von der körperlichen unterschieden hatte[2]), um eine wichtige Entdeckung bereichert. Wilhelm Herschel bediente sich bei der Beobachtung der Sonne verschiedenartig gefärbter Gläser. Dabei fiel ihm auf, daß hinter gewissen Gläsern, welche weniger Licht durchlassen, mitunter eine stärkere Wärmeempfindung stattfand, als hinter anderen helleren[3]), so daß die erwärmende Kraft des Lichtes durchaus nicht von der Stärke

---

1) Der Versuch wurde von Davy in der Weise angestellt, daß zwei Eisstücke unter einer luftleeren Glasglocke vermittelst eines Uhrwerkes aneinander gerieben wurden.

2) Siehe Seite 273 ds. Bds.

3) Gilberts Annalen, VII. 1801. Seite 137.

des letzteren abzuhängen schien. Um nun die Frage zu entscheiden, ob die Wärme etwa ungleichmäßig über die verschiedenen Strahlengattungen verteilt sei, erzeugte Herschel das Sonnenspektrum und brachte ein Thermometer mit geschwärzter Kugel in die verschiedenen Farben, welche er nacheinander durch eine Öffnung fallen ließ. Ein zweites etwas entferntes Thermometer zeigte die Wärme der umgebenden Luft an[1]). Herschel verglich dann die Temperaturerhöhung, welche das Thermometer in gleichen Zeiträumen in den verschiedenen Teilen des Spektrums erfuhr. In derselben Zeit, in welcher es unter im übrigen gleichen Verhältnissen im violetten Teil des Spektrums um 2^0 stieg, betrug die Zunahme im Grün $3\,{}^1/_4{}^0$ und im Rot, wo sie am größten war, $6^7/_8{}^0$. Herschel setzte diese Untersuchung fort und konnte schon einen Monat später[2]) der gelehrten Welt das merkwürdige Ergebnis mitteilen, daß ein ultraroter Teil des Spektrums bestehe, der aus unsichtbaren, Wärme spendenden Strahlen zusammengesetzt sei. Ja, es ergab sich, daß das Maximum der Wärmewirkung innerhalb dieser unsichtbaren Region gelegen ist.

Daß die Teile des Spektrums auch hinsichtlich der chemischen Wirkung ein verschiedenes Verhalten zeigen, war schon durch Scheele nachgewiesen worden. Dieser brachte in das Spektrum ein Stück Papier, welches er mit Chlorsilber überzogen hatte, einer Substanz, von der man wußte, daß sie am Lichte allmählich geschwärzt wird. Scheele bemerkte[3]) nun, daß das Chlorsilber im Violett weit eher schwarz wird als in den anderen Farben. Dieser einfache Versuch läßt sich als der Anfang der heute so hoch entwickelten Spektralphotographie betrachten. Die Analogie des von Scheele erhaltenen Befundes mit den Ergebnissen Herschels trat noch deutlicher hervor, als 1801 das Vorkommen von chemisch wirksamen Strahlen über das Violett hinaus nachgewiesen wurde[4]). Auch in diesem Falle ergab sich, daß das Maximum der Wirkung jenseits des sichtbaren Teiles gelegen ist, da die Zersetzung des Chlorsilbers hier energischer als im Violett selbst vor sich geht. Die ultravioletten Strahlen wurden daher seit der Zeit auch als chemische Strahlen bezeichnet.

---

[1]) Philos. Transact. 27. III. 1800, Seite 255. Investigation of the Powers of the prismatic Colours to heat and illuminate Objects.

[2]) Philos. Trans. 24. IV. 1800, Seite 284. Experiments on the Refrangibility of the invisible Rays of the Sun.

[3]) Scheele, Chemische Abhandlung von der Luft und dem Feuer. Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften Nr. 58, Seite 54.

[4]) Durch Ritter. Siehe Gilberts Annalen, VII. 1801. Seite 525.

Wieder ein Jahr später (1802) wurde die Kenntnis von der Beschaffenheit des Spektrums um eine Entdeckung bereichert, welche von der allergrößten Tragweite werden sollte. Der Engländer Wollaston[1]), der sich gleichfalls um den Nachweis der ultravioletten Strahlen verdient gemacht hat, bemerkte, daß das hinter einem feinen Spalt erzeugte Sonnenspektrum von zahlreichen dunklen Linien durchzogen ist. Diese Tatsache wurde von Wollaston jedoch nicht weiter verfolgt; sie blieb vereinzelt und mußte von dem deutschen Optiker Fraunhofer mehr als ein Jahrzehnt später von neuem aufgefunden werden. Fraunhofer knüpfte an seine Entdeckung indes eine ausführliche Untersuchung[2]), durch welche er, ursprünglich zwar Aufgaben der praktischen Optik verfolgend, die Grundlage für die Spektralanalyse schuf. Fraunhofer ließ gleichfalls Sonnenlicht durch einen schmalen Spalt auf das Prisma fallen. Als er darauf das Spektrum durch ein Vergrößerungsglas betrachtete, zeigte sich eine Unzahl von stärkeren und schwächeren dunklen Linien. Verbreiterte er die Öffnung, so wurden die Linien undeutlich und verschwanden endlich ganz, was er daraus erklärte, daß bei einer breiteren Öffnung das Licht nicht mehr als ein Strahl anzusehen ist. Fraunhofer überzeugte sich nun, indem er verschiedene brechende Medien wählte, daß die später nach ihm benannten Linien wirklich in der Natur des Sonnenlichtes liegen. Ließ er das Licht einer Lampe durch dieselbe schmale Öffnung fallen, so zeigte sich keine derartige Linie, während das von der Venus ausgehende Licht sie alle enthielt, ein Beweis, daß ein Planet zurückgeworfenes Sonnenlicht aussendet. In den Spektren der Fixsterne entdeckte Fraunhofer gleichfalls Streifen, doch stimmten diese, was Lage und Beschaffenheit betraf, mit den Linien des Sonnenspektrums nicht überein; auch schienen ihm die Fixsternspektren unter sich Verschiedenheiten aufzuweisen. Die stärksten Linien des Sonnenspektrums, welche später wieder in Gruppen von Linien aufgelöst wurden, bezeichnete Fraunhofer durch große Buchstaben (siehe Abb. 78). A befindet sich im Rot, H im Violett, D an der Grenze von Orange und Gelb u. s. w. Allein in dem Raume zwischen B und H zählte er 574 Linien, von denen jedoch nur die stärkeren in seiner Zeichnung wiedergegeben sind. Von großer Tragweite

1) 1766—1828. Philos. Transact. 1802.

2) Denkschriften der Königlichen Akademie der Wissenschaften zu München für die Jahre 1814 und 1815.

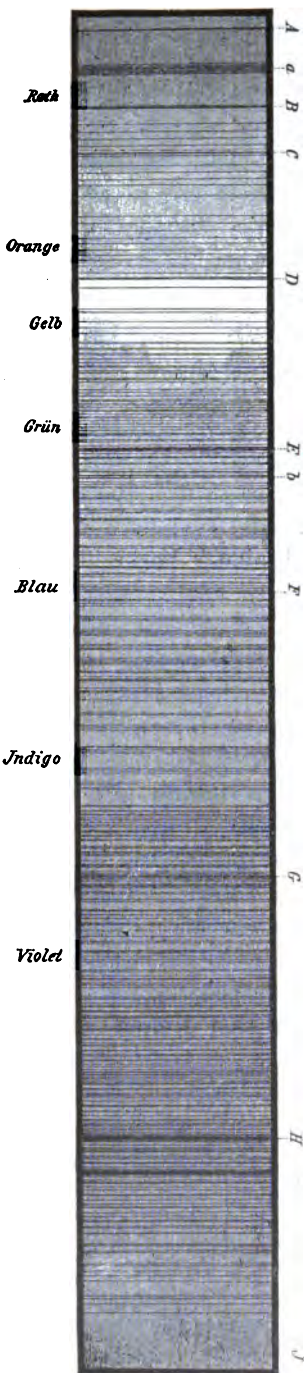


Abb. 78. Fraunhofers Zeichnung der von ihm im Sonnenspektrum gefundenen dunklen Linien (Denkschriften der Münchener Akademie von 1814/15, Tab. II, Fig. 5).

war auch Fraunhofers Beobachtung, daß das Licht einer Lampe zwei helle Linien aufweist, welche mit den beiden D-Linien des Sonnenspektrums zusammenfallen[1]). Der Nachweis, daß diese hellen Linien durch eine Spur von Natrium hervorgerufen werden, sowie die Beantwortung der Frage, weshalb sie mit den D-Linien zusammenfallen, blieb Kirchhoff und Bunsen vorbehalten, welche auf der von Fraunhofer und einigen anderen Forschern geschaffenen Grundlage seit 1859 die Spektralanalyse zu einem Forschungsmittel allerersten Ranges entwickelt haben.

In diesem Zeitraum, in welchem die Optik um so manche wichtige Entdeckung bereichert wurde, sollte auch der alte, an die Namen Newton und Huygens sich knüpfende Streit über das Wesen des Lichtes zu gunsten der von letzterem vertretenen Theorie entschieden und damit in die Lehre von den Imponderabilien eine zweite Bresche gelegt werden.

Der erste Angriff auf die Emanationstheorie erfolgte im Vaterlande Newtons durch Young[2]), welcher die von Hooke begonnene und von Newton fortgesetzte Untersuchung der Farben

1) Fraunhofers Abhandlung in den Denkschriften der Münchener Akademie von 1814/15, Seite 221.

2) Thomas Young 1773—1829.

dünner Blättchen wieder aufnahm. Jene Folge von hellen und dunklen Streifen oder Ringen, die Newton im gleichartigen Lichte beobachtet hatte, ohne dafür eine Erklärung finden zu können, welche mehr als eine bloße Umschreibung war, führte Young auf das Zusammentreffen der von der ersten und zweiten begrenzenden Fläche zurückgeworfenen Strahlen zurück. Er bezeichnete diese Erscheinung mit dem noch jetzt dafür gebräuchlichen Namen Interferenz und suchte darzutun, daß ein Hinzufügen von Licht zu Licht in ähnlicher Weise Dunkelheit zur Folge haben könne, wie durch das Zusammentreffen von gleichen aber entgegengesetzten Bewegungen, z. B. Schwingungen verschiedener Phase, Ruhe entsteht. Young gelang sogar der Nachweis, daß die Erscheinung der Interferenz sich auch auf den unsichtbaren, ultravioletten Teil des Spektrums erstreckt. Er erreichte dies durch folgende Versuchsanordnung[1]). Der ultraviolette Teil des Spektrums wurde auf eine dünne, zur Erzeugung der farbigen Ringe geeignete Schicht geworfen und von den begrenzenden Flächen so reflektiert, daß der unsichtbare Reflex auf ein mit Silberlösung getränktes Papier fiel. Nach einiger Zeit entstanden auf letzterem die bekannten dunklen Ringe. Das dieser Erscheinung zu grunde liegende Prinzip der Interferenz sprach Young in folgenden Worten aus[2]): „Wenn zwei Wellen verschiedenen Ursprungs sich in gleicher oder in nahezu gleicher Richtung fortpflanzen, so besteht ihre Gesamtwirkung in der Vereinigung der einer jeden entsprechenden Bewegung.“ Die Bewegungen, welche das Licht zur Folge haben, geschehen nach Young in einem dünnen, außerordentlich elastischen Äther, der das Weltall erfüllt.

Die Verschiedenheit der Farben erklärt er aus der Häufigkeit der Schwingungen, welche durch jene Bewegung des Äthers in der Netzhaut erzeugt werden. Letztere denkt er sich aus drei verschiedenartigen, die Empfindung der drei Grundfarben vermittelnden Nervenelementen zusammengesetzt. Die Erregung der einen Art von Fasern soll demgemäß die Empfindung Rot, die der zweiten die Empfindung Grün geben, während die dritte Art vorzugsweise durch das violette Licht gereizt werden soll. So wird z. B. homogenes rotes Licht die rotempfindenden Nervenfasern stark erregen, während es auf die beiden übrigen Arten nur eine schwache Wirkung

1) Philos. Transact. 1804. Seite 1.

2) Young, On the theory of light and colours. Phil. Transact. 1802. Seite 12.

ausübt. Werden alle drei Arten in gleicher Stärke getroffen, so entsteht der Eindruck Weiß. Diese Lehre Youngs wurde später von Helmholtz wieder aufgenommen und eingehender begründet[1].

Wie das Licht so wird auch die strahlende Wärme nach Young auf die Bewegung des Äthers zurückgeführt. Nach ihm unterscheiden sich die Wärmeschwingungen einzig durch ihre Länge und die ihnen zukommende Schwingungszahl von den Lichtschwingungen. Die wesentlichste Schwäche der von Young entwickelten Lehre bestand in der schon von Huygens gemachten Annahme, die schwingende Bewegung erfolgte longitudinal, d. h. in der Fortpflanzungsrichtung. Daß eine solche Annahme die ursprüngliche war, ist begreiflich, da man zu einer Wellentheorie des Lichtes gelangte, indem man die Licht- und Schallerscheinungen als analoge Vorgänge betrachtete, von denen letztere schon längst auf longitudinale Schwingungen der Luftteilchen zurückgeführt waren.

Diese Schwäche der von Young entwickelten Lehre trat besonders zutage, als Malus die Polarisation durch Reflexion entdeckte. Wird ein Lichtstrahl reflektiert oder gebrochen, so werden bekanntlich seine physikalischen Eigenschaften im allgemeinen nicht geändert, sondern er verhält sich geradeso, als ob er von dem leuchtenden Körper käme. Bei der Brechnung findet zwar in der Regel eine Zerlegung des zusammengesetzten Lichtes statt, doch besitzt jede der erhaltenen Komponenten ihre ursprünglichen Eigenschaften, was schon Newton dadurch nachwies, daß er aus diesen Komponenten den weißen Strahl in seiner früheren Beschaffenheit wieder zusammensetzte. Von dieser Eigenschaft des gewöhnlichen Lichtes gänzlich abweichend ist dagegen, wie auch Newton erkannte, das Verhalten eines Lichtstrahls, welcher die zu Newtons Zeiten an dem Kalkspat entdeckte Doppelbrechung erlitten hat. Die erhaltenen Strahlen gehen nämlich bei einer bestimmten Lage durch einen zweiten Kalkspatkrystall hindurch, ohne wieder zerlegt zu werden, während bei einer anderen Lage des zweiten Kristalles eine nochmalige Teilung stattfindet. Hieran knüpfte Newton die Bemerkung, ein solcher Lichtstrahl möge wohl verschiedene Seiten besitzen, welche mit voneinander abweichenden Eigenschaften begabt seien[2].

---

[1]) Helmholtz, Handbuch der physiologischen Optik. Leipzig 1867. Seite 291 u. f.

[2]) Newton Optice. Lib. III. Quaestio XXVI: Annon radiorum luminis diversa sunt latera, diversis proprietatibus congenitis praedita?

Nahezu ein Jahrhundert sollte es dauern, bis ein Zufall lehrte, daß derartiges polarisiertes Licht keine vereinzelte, nur an gewissen Mineralien auftretende Erscheinung ist. Es war im Jahre 1808, als der französische Physiker Malus[1]) eines Tages durch einen isländischen Doppelspat nach den von der untergehenden Sonne beleuchteten Fenstern des Palais du Luxembourg blickte. Malus drehte den Kristall und nahm dabei zu seinem Erstaunen wahr daß die beiden Bilder, welche dieser lieferte, abwechselnd ihre Stärke veränderten. Zuerst dachte er an eine Beeinflussung, welche das Sonnenlicht bei seinem Durchgang durch die Atmosphäre erlitten haben könne; später erkannte er jedoch, daß in diesem Falle die Reflexion die einzige Ursache der Polarisation des Lichtes ist[2]). Malus fand, daß unter einem bestimmten, von der Natur des reflektierten Stoffes abhängigen Winkel die Polarisation in solchem Grade stattfindet, daß von den Doppelbildern, welche der Kalkspat liefert, das eine bei einer gewissen Lage des Kalkspats verschwindet. Diese Versuche vermochte Young aus seiner Lehre infolge der erwähnten Schwäche nicht zu erklären, worüber Malus, ein unerschütterlicher Anhänger der Emissionstheorie, große Freude empfand[3]). Die endgültige Beseitigung dieser Theorie gelang erst dem Franzosen Fresnel[4]). Letzterer begann seine Untersuchungen im Jahre 1815 und war schon 1820 im stande, sämtliche Erscheinungen, welche das Licht darbietet, durch die Annahme transversaler Ätherschwingungen zu erklären. In derjenigen Fassung, welche Fresnel der Undulationstheorie verliehen, ist diese in den dauernden Besitz der Wissenschaft übergegangen. Und ihre Herrschaft erscheint um so mehr gesichert, als es gelungen ist, nicht nur alle später entdeckten Erscheinungen aus dieser Theorie zu deuten, sondern sogar Vorgänge zu beschreiben, deren Stattfinden erst spätere Versuche dargetan haben[5]).

Neben der Optik nahmen die Forschungen über die Berührungselektrizität die Physiker in den ersten Jahrzehnten des

---

1) Etienne Louis Malus, 1775—1812.

2) Sur une propriété de la lumière réfléchie. Par M. Malus. Mémoire d'Arcueil. II, 143.

3) Aragos Werke III, Seite 117.

4) Augustin Jean Fresnel, 1788—1827.

5) z. B. die von Hamilton abgeleitete und von Lloyd am Aragonit nachgewiesene konische Refraktion. Hamilton in Poggendorffs Annalen, Bd. XXVIII. Lloyd ebenda.

neunzehnten Jahrhunderts vorzugsweise in Anspruch. Kaum hatte man sich mit den hauptsächlichsten Wirkungen der von Galvani entdeckten Naturkraft vertraut gemacht, als man schon eine neue Art der Erregung kennen lernte. Der deutsche Physiker Seebeck[1]) war auf den Gedanken gekommen, zu untersuchen, ob auch zwei Metalle für sich ohne Mitwirkung eines feuchten Leiters einen Strom liefern könnten. Als Seebeck eine Wismutscheibe (Abb. 79 *B*) unmittelbar auf eine Kupferscheibe *K* legte und beide Scheiben zwischen die Enden *a b* eines im magnetischen Meridian liegenden spiralförmig gewundenen Kupferstreifens brachte, zeigte die in der Spirale befindliche Magnetnadel (*n s*) bei der Schließung des Kreises sogleich eine deutliche Ablenkung. Dies war ein Beweis, daß hierbei ein elektrischer Ausgleich stattfand. Die Wirkung war am stärksten, wenn die Schließung unmittelbar mit der Hand bewirkt wurde; sie blieb dagegen aus, wenn man sich beim Zusammendrücken einer Glasstange oder eines längeren Holzstückes bediente, während sich noch eine schwache Wirkung zeigte, wenn man dünne Zwischenkörper anwandte[3]). Nach diesen Erfahrungen mußte sich der Gedanke aufdrängen, daß nur die Wärme, die sich der berührten Stelle von der Hand mitteilt, die Ursache jenes durch den Ausschlag der Nadel sich verratenden elektrischen Ausgleichs ist. Künstliche Abkühlung eines der beiden Berührungspunkte ergab denselben Erfolg. Da die unmittelbare Berührung der Metalle neben dem Vorhandensein eines Temperaturunterschieds die wesentliche Bedingung des Gelingens war, so lötete Seebeck seine Stäbe, für welche sich Antimon und Wismut als besonders geeignet erwiesen, zusammen und schuf so das erste Thermoelement. War dieses zunächst auch nicht geeignet, einen ergiebigen Strom zu liefern, so wurde es doch in den Händen Nobilis[4]), der eine Anzahl solcher Elemente zur Thermosäule

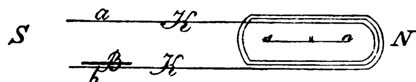


Abb. 79. Die Entdeckung der Thermoelektrizität[2]).

---

[1]) Thomas Johann Seebeck, 1770—1831.

[2]) Die 1. Figur des unter 3 erwähnten Werkes.

[3]) Th. J. Seebeck, Magnetische Polarisation der Metalle und Erze durch Temperaturdifferenz. Siehe Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften Nr. 70, Seite 8 u. f.

[4]) Leopoldo Nobili, 1784—1835.

vereinigte, zu einem brauchbaren Instrument, um kleinste Temperaturunterschiede nachzuweisen und durch den Ausschlag eines empfindlichen Galvanometers zu messen. Ein solches erhielt Nobili, als er nach dem Vorgang Ampères zwei Nadeln von nahezu gleicher magnetischer Stärke zu einem astatischen Nadelpaare verband[1]. Mit dieser unter dem Namen des Thermomultiplikators bekannten Vereinigung beider Apparate hat dann später Melloni seine Versuche über die Wärmestrahlung angestellt[2].

Die chemischen Errungenschaften des auf die Begründung der neueren Richtung folgenden Zeitraums knüpfen sich ihrer Mehrzahl nach an die Namen Gay-Lussac und Berzelius. Louis Joseph Gay-Lussac, am 6. September 1778 in einer kleinen Stadt[3] des mittleren Frankreichs geboren, wurde mit 19 Jahren Schüler der École polytechnique. Da er zu den ausgezeichnetsten Zöglingen dieser Anstalt gehörte, wählte ihn der Chemiker Berthollet, der soeben von einer als Begleiter Bonapartes unternommenen Expedition nach Ägypten zurückgekehrt war, zu seinem Gehilfen. Die ersten Lorbeeren, welche sich Gay-Lussac auf dem Felde der Wissenschaft verdiente, hatte er einem eigentümlichen Umstande zu verdanken. Durch die alltägliche Beobachtung, daß der Rauch unter dem Einfluß warmer Luft im Kamin emporsteigt, waren die Gebrüder Montgolfier auf den Gedanken gekommen, eine Papierhülle durch ein darunter befindliches Feuer zum Emporsteigen zu bringen. Ihrem berühmt gewordenen Versuch vom Jahre 1783, bei welchem sich eine derartige Hülle von 22000 Kubikfuß Rauminhalt durch ein darunter befestigtes Strohfeuer auf eine Höhe von etwa 1000 Toisen erhob, waren zahlreiche von mehr oder weniger Erfolg begleitete Auffahrten gefolgt. Auf den Vorschlag des Physikers Charles war man noch in demselben Jahre zur Füllung der Ballons mit Wasserstoff übergegangen. Trotzdem blieb eine Luftreise bei dem Mangel der heutigen Sicherheitsvorrichtungen zunächst ein sehr gewagtes Unternehmen. Als sich die Pariser Akademie im Anfang unseres Jahrhunderts entschloß, Auffahrten zu wissenschaftlichen Zwecken zu veranstalten, galt es daher, einige jüngere, beherzte Forscher zu gewinnen. Die Wahl fiel auf Gay-Lussac und Biot, welche im Sommer des Jahres 1804 einen gemeinschaftlichen

[1] Nobili, Sur un nouveau galvanomètre (Bibl. univ. XXV. 1824).

[2] Macedonio Melloni, geboren zu Parma 1798, gestorben 1854. La Thermochrôse ou la coloration calorifique. Neapel 1850.

[3] St. Léonard in Limousin.

Aufstieg unternahmen, dem bald darauf eine von Gay-Lussac allein ausgeführte Luftreise folgte. In der von dem letzteren erreichten Höhe betrug die Temperatur — 9,5°, während zur selben Zeit in Paris ein im Schatten befindliches Thermometer + 27,5° zeigte. Die atmosphärische Luft war nach den Analysen, welche Gay-Lussac anstellte, in den oberen Schichten der Atmosphäre von derselben Zusammensetzung wie in der Nähe der Erdoberfläche. Insbesondere war die Aufmerksamkeit der beiden Physiker auf das Verhalten gerichtet, welches die Magnetnadel in großer Entfernung vom Erdboden zeigt. Die angestellten Schwingungsbeobachtungen ergaben, daß ein Höhenunterschied von mehreren tausend Metern die magnetische Kraft nicht merklich beeinflußt. „Biots und Gay-Lussacs Luftfahrten", schrieb später Arago[1]), „werden im Andenken der Menschen fortleben als die ersten derartigen Unternehmungen, welche behufs Lösung wissenschaftlicher Aufgaben mit entschiedenem Erfolge ausgeführt worden sind."

Die Analyse der atmosphärischen Luft und die Zuverlässigkeit der hierzu benutzten Mittel waren zu der Zeit, als Gay-Lussac seine Tätigkeit begann, viel umstritten. Insbesondere war der Glaube verbreitet, daß der Gehalt an Sauerstoff schwankend und für die Güte der Luft bestimmend sei. Die zur Ermittlung des Sauerstoffgehaltes ersonnenen Apparate wurden daher Eudiometer (Luftgütemesser) genannt. Das erste Eudiometer rührt von Priestley her; es beruhte auf dem Verhalten von Stickoxyd gegen Sauerstoff[2]) und wurde von Fontana (1774) verbessert. Weit zuverlässigere Resultate erhielt man jedoch bei dem von Lavoisier in Vorschlag gebrachten Verfahren[3]). Letzteres bestand darin, daß eine gemessene Luftmenge über Quecksilber abgesperrt und mit Phosphor in Berührung gebracht wurde. Durch die langsame Oxydation dieser Substanz wurde der Sauerstoff völlig gebunden, und die Luft erlitt eine dementsprechende Verminderung. Im wesentlichen auf demselben Prinzip beruhte das von Volta vorgeschlagene Eudiometer: Die zu untersuchende Luft wurde mit Wasserstoff zusammengebracht. War dieses Gas in hinreichender Menge vorhanden, so riß es bei der durch einen elektrischen Funken bewirkten Explosion des Gasgemisches den gesamten

1) Aragos Werke, Bd. III, Seite 14.

2) Siehe Seite 303 ds. Bds.

3) Annales de chimie IX. 1791. pg. 239.

Sauerstoff der Luft an sich und verband sich damit zu Wasser. Auch Alexander von Humboldt, welcher nach der im Jahre 1804 erfolgten Rückkehr von seiner großen südamerikanischen Reise Wohnsitz in Paris genommen hatte, beschäftigte sich mit eudiometrischen Bestimmungen. Nachdem ihm Gay-Lussac als derjenige Physiker vorgestellt worden war, welcher, um wissenschaftliche Fragen zu lösen, ohne Furcht zu der größten bisher von Menschen erreichten Höhe aufgestiegen sei, schlossen beide ihrer außerordentlichen Leistungen wegen gefeierten Männer ein enges Freundschaftsbündnis. Die schönste Frucht desselben war eine gemeinsame, 1805 veröffentlichte Arbeit über die eudiometrischen Mittel und über das Verhältnis der Bestandteile der Atmosphäre[1]). Diese Arbeit ergab, daß Voltas Eudiometer das schätzbarste Instrument für die Analyse der Luft sei. Ein wichtiges Nebenresultat war der Nachweis, daß sich der Sauerstoff mit dem Wasserstoff nach dem einfachen Volumverhältnis 1 : 2 verbindet.

Während sich der vielseitige von Humboldt neuen Aufgaben zuwandte, vertiefte sich Gay-Lussac weiter in das Studium der Gase, über deren chemisches und physikalisches Verhalten wir ihm eine Fülle von Entdeckungen verdanken. Seine erste Arbeit über diesen Gegenstand war auf Berthollets Anregung entstanden, als Gay-Lussac noch die Hochschule besuchte. Sie handelte von der Ausdehnung gas- und dampfförmiger Körper[2]) und lieferte den nicht nur in praktischer Hinsicht, sondern auch für die Theorie äußerst wichtigen Nachweis, daß „alle Gasarten und Dämpfe bei derselben Temperaturerhöhung, unter im übrigen gleichen Umständen, in gleichem Grade ausgedehnt werden.“ Gay-Lussacs Untersuchung erstreckte sich auf Sauerstoff, Wasserstoff, Stickstoff, Ammoniak, Schwefeldioxyd, Kohlendioxyd und Ätherdampf. Nach seinen Messungen betrug die Volumzunahme dieser Gase bei einer Temperaturerhöhung von 0 auf 100 Grad 0,375 des ursprünglichen Volumens. Durch spätere Bestimmungen ist dieser Ausdehnungskoeffizient zu 0,366 (oder

---

1) Journal de Physique, 60. Seite 129—158. Neuerdings veröffentlicht im 42. Bande von Ostwalds Klassikern der exakten Wissenschaften. Leipzig, Verlag von Wilhelm Engelmann, 1893.

2) Recherche sur la dilatation des gases et des vapeurs (Ann. chim. et phys. XLIII, 1802). Diese Abhandlung wurde neuerdings im 44. Bande von Ostwalds Klassikern der exakten Wissenschaften in deutscher Übersetzung herausgegeben.

für eine Temperatursteigerung von 0° auf 1° zu 0,00366 = $\frac{1}{273}$) ermittelt worden.

Nach Beendigung ihrer gemeinsamen Arbeit unternahmen Gay-Lussac und Humboldt eine italienische Reise. Von Rom, für dessen Kunstschätze sich ihnen im Verkehr mit einem Rauch und einem Thorwaldsen der Sinn erschloß, machten die Freunde in Begleitung des Geologen Leopold von Buch einen Abstecher nach Neapel, wo sie Zeugen eines großartigen, von einem furchtbaren Erdbeben begleiteten Ausbruchs wurden. Auch in chemischer Hinsicht war diese Reise nicht ohne Ausbeute. So machte Gay-Lussac in Neapel die wichtige Entdeckung, daß die im Wasser gelöste Luft einen weit größeren Sauerstoffgehalt (etwa 30 %) als die atmosphärische Luft (21 %) besitzt. Nachdem die Reisenden vor dem Verlassen des italienischen Bodens noch Volta aufgesucht hatten, trafen sie in Berlin ein, wo beide im Hause von Humboldts den Winter verlebten. Nach Paris zurückgekehrt, beschäftigte sich Gay-Lussac zunächst mit der Frage, ob seine Vermutung zutreffend sei, daß nicht nur Wasserstoff und Sauerstoff, sondern auch die übrigen Gasarten sich nach einfachen Raumverhältnissen miteinander verbinden. Mit dem Gange dieser Untersuchung ist der Leser durch den 45. Abschnitt des I. Bandes schon vertraut geworden. Gay-Lussacs Mutmaßung wurde vollauf bestätigt. Er konnte im Jahre 1808 verkünden, daß die Gase sich nicht nur nach einfachen Raumverhältnissen vereinigen, sondern daß auch das Volumen der entstandenen Verbindung zu demjenigen der in die Verbindung eingehenden Gase in einem ebenso einfachen Verhältnis steht[1]). So nimmt der Wasserdampf, welcher sich durch das Zusammentreten von zwei Raumteilen Wasserstoff und einem Raumteil Sauerstoff bildet, unter gleichen Druck- und Temperaturbedingungen 2 Volumina ein, so daß bei seiner Entstehung eine Verdichtung von 3 auf 2 stattfindet. Dieses von Gay-Lussac entdeckte Volumgesetz ist die Grundlage für die Avogadrosche Hypothese[2]) und damit für die weitere Entwicklung der theoretischen Chemie geworden.

---

1) Mémoire sur la combinaison des substances gazeuses, les unes avec les autres (Mém. de la société d'Arcueil, 1809). In der Übersetzung herausgegeben in Ostwalds Klassikern der exakten Wissenschaften, Bd. 42, Leipzig, Engelmann, 1893.

2) Sie besagt, daß die Volumeinheit aller Gase bei gleichem Druck und gleicher Temperatur dieselbe Anzahl von Molekülen enthält. Siehe Avogadros Abhandlung vom Jahre 1811 in Ostwalds Klassikern der exakten Wissenschaften. Bd. 8. Wilhelm Engelmann, Leipzig 1889.

Als die Kunde von der Entdeckung der Alkalimetalle nach Frankreich gekommen war, stellte Napoleon der polytechnischen Schule die Mittel zur Beschaffung einer gewaltigen Voltaschen Säule zur Verfügung. Noch bevor diese in Tätigkeit gesetzt werden konnte, gelang es jedoch Gay-Lussac, Kalium und Natrium durch Glühen ihrer Karbonate mit Kohle, also auf rein chemischem Wege, ohne Zuhilfenahme der Elektrizität darzustellen[1]). Seine mustergültige Untersuchung des Jods und der Jodide hat der Leser gleichfalls kennen gelernt[2]). Gay-Lussacs Arbeiten über die Schwefelsäure, um deren fabrikmäßige Darstellung er sich durch die Einführung des sogenannten Gay-Lussac-Turmes sehr verdient gemacht hat, sowie die durch ihn erfolgte Begründung des Titrierverfahrens sind auf die Entwicklung der chemischen Technik von größtem Einfluß gewesen. Doch auch die Chemie der organischen Verbindungen erfuhr durch Gay-Lussac eine bedeutende Förderung. Für die Analyse dieser Stoffe, welche vor ihm in den Kinderschuhen stak, brachte er das Kupferoxyd als Verbrennungsmittel in Anwendung, während seine Arbeit über die Cyanverbindungen ein Muster für spätere Untersuchungen organischer Körper gewesen ist[3]). Gay-Lussac lieferte in dieser Arbeit den Nachweis, daß die von Scheele aus dem gelben Blutlaugensalz gewonnene Blausäure (HCN) eine dem Chlorwasserstoff (HCl) analoge Hydrosäure ist, in welcher ein aus Kohlenstoff und Stickstoff bestehendes Radikal CN, das den Namen Cyan erhielt, an die Stelle von Chlor tritt. Indem er weiter zeigte, daß dieses Radikal auch in anderen Substanzen die Stelle eines Elements vertritt, eröffnete er die Reihe jener Untersuchungen, welche darauf hinausliefen, sämtliche organischen Verbindungen auf Atomgruppen zurückzuführen. Dieses Bestreben hat dann später seinen Höhepunkt in der Forschertätigkeit Liebigs erreicht, welcher die organische Chemie als die Chemie der zusammengesetzten Radikale bezeichnete[4]).

Am 9. Mai des Jahres 1850 starb Gay-Lussac. Sein Leben ist reich an wissenschaftlichen, durch stete Arbeit erzielten Erfolgen gewesen, es konnte aber auch in jeder anderen Hinsicht

---

1) $K_2CO_3 + 2\,C = 2\,K + 3\,CO$.

2) Siehe Bd. I ds. Grdr., Abschnitt 46.

3) Gay-Lussac, Recherches sur l'acide prussique. Annales de chimie XCX. 1815. Seite 136—231.

4) Liebig, Handbuch der organischen Chemie, Seite 1.

als vorbildlich gelten. Arago, welcher in der Akademie Gay-Lussac einen Nachruf widmete, schloß mit dem schönen Lobe: „Er ehrte Frankreich durch seine moralischen Eigenschaften und diese Akademie durch seine Entdeckungen. Sein Name wird mit Bewunderung und Hochachtung in allen Ländern genannt werden, in denen man die Wissenschaften pflegt.“ [1])

Von den in diesem Abschnitt dargestellten Fortschritten wurde zunächst keine Wissenschaft in solchem Grade beeinflußt wie die Mineralogie, deren Abhängigkeit von der Chemie schon wiederholt hervorgehoben ist. Ein besonderes Interesse beanspruchte die Form der Mineralien. An die Stelle der bloßen Beschreibung trat jetzt das Bestreben, die verwirrende Vielheit der Gestalten auf wenige Grundgesetze zurückzuführen. Gefördert wurde dieses Streben dadurch, daß in dem von Wollaston erfundenen Reflexionsgoniometer (1809) ein Werkzeug zur genauen Untersuchung auch der kleineren Krystalle entstand, welches alle früheren Hilfsmittel übertraf. Von Bedeutung für die weitere Entwicklung der Mineralogie waren auch die Lehren Hauys. Nach Hauy [2]) hängen das Gefüge und die Form eines Krystalles nur von der Gestalt der ihn zusammensetzenden Teilchen, sowie von deren Anordnung ab. Unter den Formen, in denen ein krystallisierter Stoff auftritt, gibt es danach eine, welche als die primitive betrachtet werden muß. Aus dieser lassen sich sämtliche Gestalten als sekundäre Formen ableiten. Als primitiv betrachtet Hauy die aus der

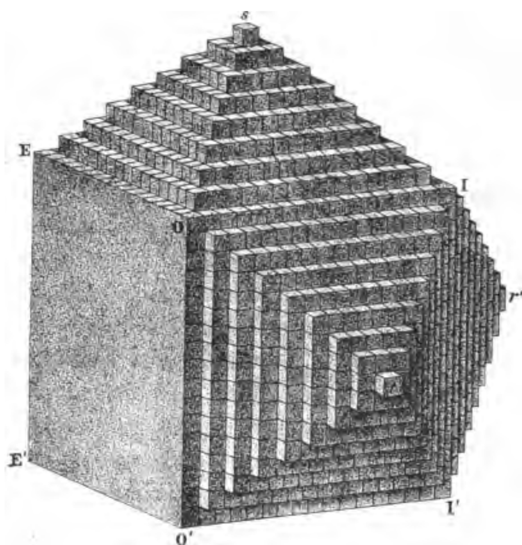


Abb. 80. Hauys Ableitung des Rhombendodekaeders (Hauy, Traité de minéralogie V. Pl. VIII).

---

1) Aragos Werke, III, Seite 57.

2) Hauy, Essai d'une théorie sur la structure des cristaux. Paris. 1784

Zertrümmerung des Krystalls hervorgehende Spaltform, auf deren Unveränderlichkeit er hinwies. Abb. 80 und 81 zeigen, wie das Rhombendodekaeder und das Pentagondodekaeder durch verschiedenartigen Aufbau aus dem Würfel hervorgehen. Solche Betrachtungen führten Hauy auch zu der Entdeckung des die Krystallwelt beherrschenden Grundgesetzes von der Rationalität der Achsenabschnitte[1]).

Während der ersten Dezennien des neunzehnten Jahrhunderts vollzog sich dann die feste Begründung der Krystallographie. Weiß entdeckte das Gesetz der Hemiedrie, nachdem schon vor ihm die Bemerkung gemacht worden war[2]), das Pentagondodekaeder ($\frac{\infty O n}{2}$, n = 2, $\frac{3}{2}$, 3 u. s. f.) mit seinen 12 Flächen gehe aus dem vierundzwanzigflächigen Pyramidenwürfel (∞ O n) hervor, wenn „die Gesetze nur zur Hälfte wirken". Weiß und Naumann schufen ferner fast zur selben Zeit, als Berzelius die chemische Zeichensprache ins Leben rief, einfache, auf der Annahme von Achsen begründete Bezeichnungen, welche einen klaren Überblick über die Ergebnisse der krystallographischen Forschung ermöglicht und

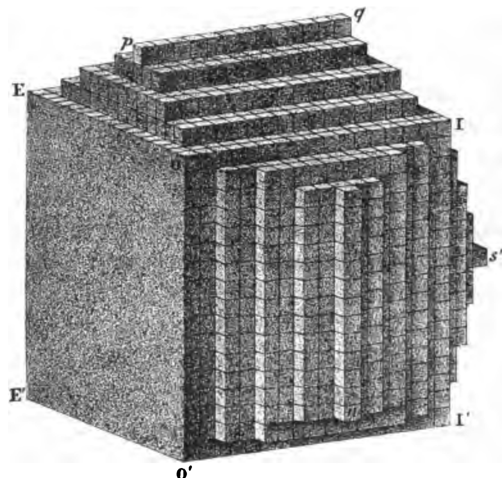


Abb. 81. Hauys Ableitung des Pentagondodekaeders (Hauy, Traité de minéralogie. V. Pl. VIII).

1) Nach diesem Gesetz sind die Zahlen, nach welchen die sekundären Formen aus der Grundform abgeleitet werden, stets rational und sehr einfach, z. B. 2, 3, $\frac{3}{2}$ u. s. f. So läuft bei der am häufigsten vorkommenden Art des Pyramidenwürfels jede der 24 Krystallflächen einer Achse parallel und schneidet die beiden anderen Achsen im Verhältnis 1 : 2. Die Bezeichnung für diese Form ist dementsprechend ∞ 0 2. Ferner kommen vor die Pyramidenwürfel ∞ 0 3 und ∞ 0 $\frac{3}{2}$.

2) Bernhardi 1807.

dadurch zu ihrer Fortsetzung angeregt haben. Seitdem in der mineralogischen Systematik die besonders durch Berzelius geförderte chemische Richtung gesiegt hatte, lehrte die mit vielem Eifer betriebene Analyse zahlreiche neue Mineralien kennen, so daß ihre Zahl sich in dem Zeitraum von dem Tode Werners bis zum Erscheinen der Geschichte der Mineralogie v. Kobells (1817—1864) fast verdreifachte. Durch das Zusammenwirken von Analyse und Krystallbeschreibung gelangte man auch zur Entdeckung neuer wichtiger Beziehungen. Zwei bekannte Mineralien, Kalkspat und Aragonit, welche man bis dahin oft verwechselt hatte, treten, wie Hauy nachwies, in Formen auf, die nicht aufeinander zurückgeführt werden können. Nun zeigte der um die Mineralanalyse hoch verdiente Deutsche Klaproth[1]), der Entdecker von Strontium und Uran, daß beide Mineralien ihrer chemischen Natur nach dasselbe, nämlich Calciumkarbonat, sind. Daß ein und dieselbe Substanz zwei verschiedene Mineralien bilden könne, wurde aber von vielen geradezu für unmöglich gehalten. Auch Hauy vermochte eine solche Annahme mit den von ihm entwickelten Ansichten nicht zu vereinigen. Man dachte daher zunächst, die Verschiedenheit in der Form und in den physikalischen Eigenschaften von Kalkspat und Aragonit werde durch Beimengungen hervorgebracht, und frohlockte, als man in dem Strontium einen regelmäßigen Bestandteil des Aragonits nachgewiesen zu haben glaubte. Bald darauf fand man jedoch Aragonit ohne einen Gehalt an Strontium und konnte sich nun nicht länger sträuben, die neuentdeckte Tatsache, welche man als Dimorphie bezeichnete, anzuerkennen.

Auch das entgegengesetzte Verhalten, daß zwei Mineralien von verschiedener Zusammensetzung, wie Kalkspat und Eisenspat, in derselben Form krystallisieren, wurde beobachtet. Hauy glaubte indessen mathematisch beweisen zu können, daß verschiedene Stoffe, abgesehen von denjenigen, welche regulär krystallisieren, nicht dieselbe Form besitzen können. Nach ihm sollte sich der Kalkspat unter Beibehaltung der Gestalt in Eisenspat umwandeln, also eine ähnliche Entstehung nehmen wie das versteinerte Holz. Da kam Mitscherlich und zeigte, daß die von ihm Isomorphie genannte Erscheinung auch an künstlich dargestellten Verbindungen, z. B. an den Salzen, welche Phosphorsäure und Arsensäure mit demselben Metalle bilden, auftritt. Auch Eisensulfat und Kobalt-

1) Martin Heinrich Klaproth, 1743—1817.

sulfat stimmen nach der Untersuchung Mitscherlichs[1]) in ihrer Form vollkommen überein. An den Eisenspat schlossen sich ferner Zink- und Manganspat als gleichfalls dem Kalkspat isomorphe Mineralien an. Aus den angeführten Beispielen geht schon zur Genüge hervor, daß es Verbindungen von ähnlicher chemischer Zusammensetzung sind, an welchen Mitscherlich Isomorphie beobachtete. Letztere wurde nun von ihm, sowie insbesondere von Berzelius auch umgekehrt als Mittel benutzt, um eine Übereinstimmung in dem atomistischen Aufbau der untersuchten Verbindungen nachzuweisen. „Ich hoffe“, schließt Mitscherlich seine berühmte Abhandlung vom Jahre 1819, in welcher er die Lehre von der Isomorphie begründete, „daß das Studium der Krystallisation ebenso bestimmt wie die chemische Analyse das Verhältnis der Bestandteile der Körper angeben wird.“ Demgemäß erblickte Berzelius in den Mengen der sich entsprechenden Elemente (z. B. Kobalt und Eisen in ihren Sulfaten), welche mit einem bestimmten Gewichte Sauerstoff verbunden sind, die relativen Atomgewichte.

Mitscherlich ist auch der erste Nachweis zu verdanken, daß die Dimorphie gleichfalls künstlich hervorgerufen werden kann und von den physikalischen Umständen abhängt, unter denen die Krystallisation vor sich geht[2]). So erhielt er Schwefel in verschiedenen Formen, je nachdem dies Element aus einer Lösung oder aus dem Schmelzfluß erstarrte. Ähnlich wurde später die Dimorphie von Calciumkarbonat erklärt[3]). Fällt man diese Substanz bei gewöhnlicher Temperatur, so weist sie die Gestalt des Kalkspats auf, während sich Aragonitkryställchen bilden, wenn der Niederschlag aus einer heißen Lösung entsteht.

Wie der chemische Aufbau, so wurde nun auch das physikalische und zwar insbesondere das optische Verhalten mit der Form der Mineralien in Beziehung gebracht. Als Huygens seine Abhandlung über das Licht schrieb, war die Doppelbrechung nur am isländischen Kalkspat und am Quarz bekannt. Später entdeckte man sie auch an anderen Substanzen, indem man von

---

1) Mitscherlich, Über die Krystallisation der Salze. Abhandlungen der Berliner Akademie 1818/19. Mitscherlichs im Jahre 1821 veröffentlichte Untersuchung über das Verhältnis zwischen der chemischen Zusammensetzung und der Krystallform arseniksaurer und phosphorsaurer Salze erschien als 94. Band von Ostwalds Klassikern der exakten Wissenschaften. Leipzig. 1898.

2) Abhandlungen der Berliner Akademie 1822/23, Seite 43 ff.

3) Rose, 1837.

kleinen Körpern, z. B. von der Spitze einer Nadel, ein doppeltes Bild erhielt. War der Richtungsunterschied der Strahlen nur klein, so entging er entweder gänzlich der Beobachtung, oder das Ergebnis war ein zweifelhaftes. Dies wurde anders, als Arago die chromatische Polarisation auffand [1]). Jetzt genügte es, ein dünnes Blättchen im polarisierten Licht zu untersuchen, um über die Beschaffenheit des betreffenden Minerales Aufschluß zu erlangen. Die Beziehung zwischen der Krystallform und dem optischen Verhalten konnte seitdem nicht länger verborgen bleiben. Man erkannte, daß alle regulären Substanzen das Licht einfach brechen, aber durch Zusammenpressen doppeltbrechend gemacht werden können. Eine derartige gewaltsame Änderung konnte nur bewirkt haben, daß die Moleküle in der einen Richtung einander genähert, in einer dazu senkrechten voneinander entfernt wurden, woraus man wiederum schloß, daß die Anordnung der Moleküle die Ursache des optischen Verhaltens der doppeltbrechenden Krystalle sei.

5. Die Zoologie und die Botanik werden auf die Grundlage des natürlichen Systems gestellt.

Wie für die chemisch-physikalische Forschung, so begann auch für die beschreibenden Naturwissenschaften mit der Wende des 18. Jahrhunderts eine neue Zeit. Während der auf Linné folgenden Jahrzehnte waren alle Bemühungen so sehr auf die Ausfeilung des von diesem Manne geschaffenen Systems gerichtet gewesen, daß das eigentliche Ziel der Naturforschung, welches doch in der Erkenntnis des Zusammenhanges der Erscheinungen besteht, darüber fast aus dem Auge verloren wurde. Endlich besann man sich, daß man in dem künstlichen System nichts mehr als ein bloßes Register besitze und von der Erreichung jenes Zieles noch unendlich weit entfernt sei. Diese Einsicht begegnet uns zunächst nur in einzelnen hervorragenden Köpfen. Wie die Neugestaltung der Chemie, so nahm die Umbildung der beschreibenden Naturwissenschaften ihren Ursprung in Frankreich, dem Lande, welches gleichzeitig mit der größten Entfaltung seiner Volkskraft den belebendsten Einfluß auf die Wissenschaften ausgeübt hat.

Die Forderung eines die Verwandtschaft zum Ausdruck bringenden Systems hatte schon Linné erhoben, indem er eine Anzahl

---

1) Arago, Mémoires de l'Institut de France. 1811.

Gruppen bildete, welche natürlichen Verwandtschaftskreisen entsprachen. Diese Gruppen umfaßten jedoch nicht das gesamte Pflanzenreich; sie wurden von Linné ferner nur benannt und aufgezählt[1]), kurz, das Ganze war ein bloßer Versuch, welcher zu einer Fortsetzung in der eingeschlagenen Richtung ermuntern sollte. Dieser Anregung haben dann die beiden Jussieu, aus deren Händen das natürliche System hervorging, Folge geleistet.

Bernard de Jussieu (1699—1777), Professor am Jardin royal in Trianon, schloß sich bei der Aufstellung seiner Gruppen eng an den von Linné hinterlassenen Versuch an. Jussieu dehnte jedoch die Einteilung nach natürlichen Verwandtschaftsverhältnissen, die er auch in den Anpflanzungen des Jardin royal zum Ausdruck brachte, mit den Kryptogamen beginnend und daran die Monokotylen, die Dikotylen und endlich die Koniferen anschließend, über das gesamte Pflanzenreich aus. Sein Neffe Antoine Laurent de Jussieu (1748—1836), Professor am Jardin des plantes zu Paris, setzte diese auf die Begründung eines natürlichen Systems gerichteten Bemühungen fort. Sein Verdienst bestand darin, daß er die Anzahl der natürlichen Gruppen (Familien) nicht nur vergrößerte, sondern die jeder Gruppe gemeinschaftlichen Merkmale, die Familiencharaktere, klar erkannte und scharf hervorhob. A. L. de Jussieus systematisches Hauptwerk[2]) erschien im Jahre 1789. Es beginnt mit den Akotyledonen (Kryptogamen), welche die Gruppen der Pilze, Algen, Lebermoose, Moose und Farne umfassen. Die Monokotyledonen werden nach der Stellung der Staubgefäße zu dem Fruchtknoten in drei Reihen zerlegt; sie umfassen insgesamt 16 Familien, von denen wir als die bekanntesten die Gräser, Palmen, Lilien, Narzissen und Orchideen anführen. Die Dikotyledonen teilt Jussieu zunächst nach der Beschaffenheit der Blumenkrone in mehrere Hauptgruppen, welche dann wieder nach der Stellung des Fruchtknotens zu den übrigen Organen der Blüte in Unterabteilungen zerfallen. So gehören die Lippenblüter (Labiatae) mit 14 anderen Familien zu einer solchen Unterabteilung. Das Gemeinsame dieser 15 Familien besteht darin, daß die Krone der Blütenachse unterhalb des Fruchtknotens eingefügt ist. Gleichzeitig ist die Krone bei diesen 15 Familien verwachsenblättrig; letztere werden daher mit anderen Gruppen von Familien zur Abteilung der Verwachsenblättrigen (Monopetalen)

---

[1]) Linné, Philosophia botanica. 1751.

[2]) Genera plantarum.

zusammengefaßt. Den Monopetalen gleichwertig sind die Polypetalen (Vielkronenblättrige) und die Apetalen (Kronenblattlose). Das System Jussieus nennt unter den Polypetalen die Doldengewächse (Umbelliferae), die Hahnenfußgewächse (Ranunculaceae), die Kreuzblüter (Cruciferae), die Rosengewächse (Rosaceae) und andere hervorragend wichtige natürliche Gruppen. Im ganzen umfaßt es 100 solcher Familien, von denen auf die Vielkronenblättrigen allein fast die Hälfte entfallen.

Dieses System vom Jahre 1789 hat zwar manche Verbesserung erfahren, ist aber doch die Grundlage für alle späteren systematischen Bemühungen geblieben, unter denen diejenigen des Genfer Botanikers Pyrame Decandolle (1878—1841) in erster Linie hervorgehoben werden müssen. Decandolle vermehrte in seinem System vom Jahre 1819 die Zahl der Familien auf 161 und lieferte in Gemeinschaft mit einer Anzahl Fachgenossen eine ausführliche Beschreibung aller bis dahin bekannt gewordenen Pflanzenarten, das großartigste Unternehmen, welches die botanische Systematik aufzuweisen hat[1]).

Es gelang Decandolle indes ebensowenig wie Jussieu, eine scharfe Bestimmung und richtige Bewertung der Hauptgruppen des Pflanzenreiches zu geben. Dieses wurde erst dadurch ermöglicht, daß man sich nach dem Wiederaufleben der lange vernachlässigten mikroskopischen Forschung den schwer zugänglichen Formverhältnissen der Kryptogamen zuwandte. Jetzt erst wurde es klar, daß die schon von Ray in Vorschlag gebrachte Gegenüberstellung dieser Gruppe der Gesamtheit der übrigen Pflanzen gegenüber berechtigt ist und daß die großen Abteilungen, in welche die Kryptogamen zerfallen, den Monokotyledonen und den Dikotyledonen gleichwertig sind. Das volle Verständnis für die natürliche Verwandtschaft, welche bei Jussieu und Decandolle ein bloßer, mit dem Dogma von der Konstanz der Arten schwer vereinbarer Begriff geblieben war, wurde aber erst ermöglicht, als das in den vierziger Jahren beginnende Studium der Entwicklungsgeschichte im Verein mit der Lehre vom Transformismus dem Worte „Verwandtschaft" einen realen Sinn verlieh und das System als das Endergebnis einer zusammenhängenden, von einem gemeinsamen Ursprung ausgehenden Folge von Entwicklungsvorgängen erschien.

Auf zoologischem Gebiete hatte Buffon (1707—1788), der in

1) Prodomus systematis naturalis.

seiner Naturgeschichte[1]) nicht nur vortrefflich zu schildern, sondern auch allgemeine Gesichtspunkte hervorzuheben verstand, den Gedanken eines einheitlichen, das gesamte Tierreich beherrschenden Planes aufgestellt. Buffon ging sogar noch weiter. Nach seiner Meinung[2]) gibt es keinen wesentlichen Unterschied zwischen Tier und Pflanze, sondern es besteht eine ununterbrochene Stufenfolge zwischen dem vollkommensten Tier und dem niedrigsten pflanzlichen Lebewesen. Jener Plan, nach welchem der Mensch und die übrigen Geschöpfe gebaut sein sollten, läßt nach Buffon erkennen, daß alle Wesen nach einem Urbild geschaffen und, unter diesem Gesichtspunkt betrachtet, die Glieder einer großen Familie sind. Buffons Ausführungen blieben, weil die damaligen anatomischen Kenntnisse gänzlich unzureichend waren, um in dieser Frage einen Entscheid herbeizuführen, zunächst nichts weiter als eine geistreiche Annahme. Und wenn die Idee von der Einheit der tierischen Organisation auch in Geoffroy Saint Hilaire (1772—1844) einen eifrigen Verfechter fand, dem selbst ein Goethe Beifall zollte, so konnte sie den Ergebnissen der anatomischen Forschung eines Cuvier gegenüber doch nicht standhalten.

Faßt man die Fortschritte der Zoologie, der vergleichenden Anatomie und der Paläontologie während des neuesten, mit dem 19. Jahrhundert beginnenden Entwickelungsganges dieser Wissenschaften ins Auge, so wird das Interesse in erster Linie sich dem zuletzt genannten Manne zuwenden, dem wir deshalb wie Gay-Lussac, dem Meister der chemisch-physikalischen Forschung jener Zeit, eine biographische Behandlung angedeihen lassen wollen.

Georg Cuvier wurde am 24. August des Jahres 1769 zu Mömpelgard (Montbéliard), welches damals eine württembergische Enklave der Franche Comté war, geboren und starb in Paris am 13. Mai 1832. Er zeigte schon als Knabe außerordentliche Anlagen. Nachdem Cuvier das Gymnasium absolviert hatte, wurde der Herzog Karl Eugen, welcher gern junge Talente förderte, auf ihn aufmerksam gemacht; so kam Cuvier 1784 zur Karlsakademie, um dort Rechtskunde zu studieren. Schon vorher hatte er sich jedoch, angeregt durch das Lesen der Werke Buffons, mit großer Vorliebe den Naturwissenschaften zugewandt. Auf der Karlsschule fand er neben seinen Berufsstudien noch Zeit, unter den Zöglingen

---

1) Buffon, Histoire naturelle, générale et particulière, 1749—1788.

2) Histoire naturelle, II, 4.

einen naturwissenschaftlichen Verein ins Leben zu rufen, welcher sich die Aufgabe stellte, die Pflanzen und Tiere der Umgegend zu sammeln und nach Linnés „Systema naturae“ zu bestimmen. Im Jahre 1788 verließ Cuvier die Akademie und wurde Hauslehrer bei einem in der Normandie lebenden Grafen, der den Sommer stets an der See zubrachte. Cuvier fand hier Gelegenheit und Muße, seine Forschungen auf die Tierwelt des Meeres auszudehnen. Er untersuchte den inneren Bau der Weichtiere, Krebse, Seesterne, Seeigel u. s. w. und gelangte zu der Überzeugung, daß die Vereinigung dieser so verschiedenartigen Geschöpfe in eine Klasse, wie sie Linné vornahm, sich nicht länger aufrecht erhalten ließ. Nachdem Cuvier vier Jahre in der Stille gearbeitet hatte, wurde er von einem durch die Stürme der Revolution nach der Normandie verschlagenen Pariser Gelehrten[1]) sozusagen erst entdeckt. Dieser schrieb an seine wissenschaftlichen Freunde, einen tüchtigeren Mann für vergleichende Anatomie wie Cuvier würde man nicht gewinnen können. So kam denn letzterer im Jahre 1795 nach Paris, wo er Professor an der École centrale wurde.

Nachdem man gegen das Ende des 18. Jahrhunderts den Reichtum des Pariser Beckens an Resten von Säugetieren und Vögeln kennen gelernt hatte, war das Bemühen um die geologische Durchforschung dieser Gegend in hohem Grade rege geworden. Auch Cuvier wurde einige Jahre nach seiner Ankunft in Paris in diese Aufgabe hineingezogen, um schon nach kurzer Zeit auch hier die führende Rolle zu übernehmen. Den ersten Anlaß bot ihm die Zusendung einiger Knochen, die man in den Gipsbrüchen des Montmartre gefunden hatte. Cuviers Kenntnis der lebenden Tierformen war so umfassend, daß er jenen Überresten gleich einen vorweltlichen Ursprung zuschreiben konnte. Alle Funde der Gipsbrüche gelangten jetzt an Cuvier, welcher durch seine Untersuchung derselben der Paläontologie einen Weg eröffnete, auf dem bisher nur wenige Schritte geschehen waren. „Als Altertumsforscher ganz neuer Art“, sagt Cuvier[2]), „mußte ich diese Zeugen vorübergegangener Umwälzungen zu ergänzen und ihre eigentliche Bedeutung zu entziffern suchen. Ich hatte ihre zerbröckelten Trümmer zu sammeln und in ihrer ursprünglichen Ordnung zusammenzulegen, die Geschöpfe, denen sie angehörten, gleichsam zu

[1]) Tessier, Professor an der École centrale.

[2]) Cuvier, Discours sur les révolutions de la surface du globe. I, 1.

rekonstruieren und sie mit den lebenden der Jetztwelt zu vergleichen." Bei der Ausübung dieser Tätigkeit ließ Cuvier sich von dem durch ihn zuerst klar ausgesprochenen Prinzip von der Korrelation der Organe leiten. Jeder Organismus bildet danach ein geschlossenes Ganze, dessen Teile dergestalt miteinander in engster Wechselbeziehung stehen, daß ein Organ nicht eine Abänderung aufweisen kann, ohne daß entsprechende Änderungen sich an allen übrigen Teilen finden. Sehen wir, wie Cuvier unter diesem Gesichtspunkt bei der Bestimmung fossiler Knochen verfuhr[1]): „Wenn die Eingeweide eines Tieres so organisiert sind, daß sie nur Fleisch verdauen können, so müssen auch seine Kiefer zum Fressen, seine Klauen zum Festhalten und zum Zerreißen, seine Zähne zum Zerschneiden und Zerkleinern, das ganze System der Bewegungsorgane zum Verfolgen und Einholen der Beute, die Sinnesorgane zur Wahrnehmung der letzteren eingerichtet sein. Jedoch unter diesen allgemeinen Bedingungen sind auch noch einige besondere begriffen. Damit z. B. das Tier seine Beute forttragen könne, ist eine bestimmte Kraft derjenigen Muskeln erforderlich, durch welche der Kopf aufgerichtet wird; dieses setzt eine bestimmte Form der Wirbel, an denen die Muskeln entspringen, und des Hinterkopfes, wo sie sich anheften, voraus." Des weiteren wird ausgeführt, daß dem Vorderarm eines seine Beute ergreifenden Tieres eine gegebene Form zukommen müsse, welche ihrerseits wieder die Gestalt des Oberarmknochens bestimmt. Kurz, es ergibt sich, daß die Form des Zahnes diejenige des Hinterhauptköckers, der Gliedmaßenknochen, der Klauen u. s. w. bedingt, so daß bei gründlicher Kenntnis dieser gegenseitigen Abhängigkeit aus einem dieser Teile das ganze Tier rekonstruiert werden kann.

Eine solche Tätigkeit konnte aber nur ein Meister auf dem Gebiete der vergleichenden Anatomie ausüben. Cuvier ist als der eigentliche Begründer dieses Wissenszweiges zu betrachten, wenn es auch an anerkennenswerten Vorläufern nicht gefehlt hat. Er war der erste, der das ganze Tierreich dem Skalpell unterwarf, und zwar mit solch vollendeter Meisterschaft, daß seine Arbeiten für alle Zeiten als Muster gelten können. So entstand sein anatomisches Hauptwerk[2]), welches neben einem Reichtum neuer Entdeckungen eine Verknüpfung des gesamten Tatsachenmaterials und

1) Cuvier, Discours sur les révolutions. I, 87.

2) Leçons d'anatomie comparée. 1805. Übersetzt von Froriep und Meckel. 4 Bde. Leipzig 1809.

dadurch einen Einblick in die Gesetze der tierischen Organisation vermittelt, wie es kein früheres und wenige spätere Werke in gleichem Grade vermocht haben.

Cuvier war unterdessen Professor der vergleichenden Anatomie am Jardin des plantes[1]) und bald darauf Sekretär der Akademie geworden. Sein großes Lebenswerk wurde nicht nur dadurch gefördert, daß ihm diese höchsten wissenschaftlichen Stellungen eine Fülle von Hilfsmitteln erschlossen, sondern die gesamten Zeitumstände waren für ihn äußerst günstig. Die Machthaber Frankreichs, welche nach den ersten Stürmen der Revolutionszeit auftraten, brachten der großen Bedeutung der exakten Wissenschaften ein volles Verständnis entgegen. Schon unter dem Direktorium hatte man die von dem Nationalkonvent als gelehrten Plunder aufgehobene Akademie wieder eingerichtet. Napoleon ließ sich zu ihrem Mitgliede ernennen und trat zu Cuvier, den er besonders schätzte, in ein nahes persönliches Verhältnis. Letzterer wurde vom Kaiser mit der Reorganisation des arg in Unordnung geratenen Unterrichtswesens betraut. Diese Stellung brachte es mit sich, daß der große Gelehrte, dessen amtliche Tätigkeit sich auch auf die italienischen Universitäten erstreckte, weite Reisen unternahm und auswärtige Museen kennen lernte. Zum Mittelpunkt der naturwissenschaftlichen Sammeltätigkeit wurde aber Paris gemacht, wohin durch die französischen Eroberungszüge nicht nur die hervorragendsten Kunstschätze, sondern auch ein reiches wissenschaftliches Material gelangte. Paris war damals nicht nur das politische, sondern auch das geistige Zentrum der Welt.

Nachdem Cuvier die Grundlagen der vergleichenden Anatomie geschaffen, ging sein ganzes Streben darauf hinaus, diese Wissenschaft mit der Zoologie zu verschmelzen und eine Anordnung der Formen zu treffen, welche der genaue und vollständige Ausdruck der Natur sein sollte[2]). „Als ich anfing“, sagt er[3]), „herrschte das Linnésche System. Es gab zwar ausgedehnte Arbeiten über einzelne Tierklassen, die Bearbeiter hatten aber nur die äußeren Beziehungen der Arten berücksichtigt; niemand hatte sich damit abgegeben, die Klassen und ihre Unterabteilungen nach der Gesamtheit der inneren und äußeren Kennzeichen gegeneinander abzuwägen. Ich mußte also in der Anatomie und Zoologie mit dem

[1]) 1802.

[2]) Règne animal. 2. Aufl. I, 10.

[3]) In der Vorrede zur 1. Auflage d. Règne animal.

Zergliedern und Einteilen von vorn anfangen und aus der gegenseitigen Befruchtung dieser beiden Wissenschaften das zoologische System hervorgehen lassen.“ Die Grundzüge desselben veröffentlichte Cuvier in der berühmten Abhandlung vom Jahre 1812, welche der Leser durch den I. Band bereits kennen gelernt hat[1]. Das war freilich nicht die von der naturphilosophischen Schule geträumte Einheit der tierischen Organisation. Cuviers durch Jahrzehnte fortgesetzte Arbeiten hatten vielmehr den durch kein Raisonnement hinwegzuleugnenden Nachweis geliefert, daß sich die scheinbar unendliche Mannigfaltigkeit der Lebewesen auf mehrere Typen oder allgemeine Baupläne zurückführen läßt. Das gesamte Tierreich wurde demgemäß in die vier Kreise der Wirbeltiere, Weichtiere, Gliedertiere und Strahltiere eingeteilt, welche wieder in Klassen[2] und Ordnungen zerfielen. Dieses von Cuvier geschaffene System, vor allem aber der Grundgedanke, daß es solche allgemeinen Baupläne gibt, ist durch weitere, insbesondere entwicklungsgeschichtliche Forschungen im wesentlichen bestätigt worden. Zwar sah man sich gezwungen, die Zahl der Typen zu vermehren[3], sowie die Existenz von Zwischenformen anzunehmen, ohne daß dadurch jedoch der Begriff des Typus erschüttert und die von Geoffroy St. Hilaire vertretenen Ansichten, nach denen z. B. die Insekten mit ihrem bauchständigen Mark als umgekehrte Wirbeltiere betrachtet wurden, zur Geltung gelangt wären.

Cuviers Untersuchungen über die fossilen Tiere berühren sich an diesem Punkte mit den Ergebnissen seiner zoologischen Arbeiten. Die Hauptpläne, welche er für die lebenden Tiere erkannt hatte, fanden sich nämlich auch an den untergegangenen Formen verwirklicht, so daß sich die früheren mit den jetzigen Lebewesen zu einem großen System vereinigen ließen. Mit der Erkenntnis, daß die ausgestorbenen Wirbeltiere, auf welche sich Cuviers paläontologische Forschungen insbesondere erstreckten, von den heutigen in solchem Maße abweichen, daß sie mit ihnen höchstens unter denselben Gattungsbegriff gestellt werden dürfen, konnte man das Dogma von der Konstanz der Arten, von dem sich Cuvier beherrschen ließ, nicht wohl auf eine ungezwungene Weise vereinigen. So nahm denn Cuvier an, daß jede einer geologischen Epoche eigentümliche Lebewelt auf einen besonderen

---

1) Siehe Bd. I, Abschnitt 42.
2) Siehe Bd. I, Seite 250.
3) Siehe Bd. I, Seite 250, Anm. 3.

Schöpfungsvorgang zurückzuführen sei, während die Harmonie der gesamten Schöpfung in dem Einhalten der von ihm nachgewiesenen Baupläne zum Ausdruck gelangen sollte. Jeder Neuschöpfung mußte dann eine Beseitigung der vorhandenen Wesen vorangegangen sein. Hierfür nahm Cuvier gewaltige geologische Umwälzungen in Anspruch, deren Spuren er in den Veränderungen, welche die ursprünglich horizontalen, versteinerungsführenden Schichten erlitten haben, aufdecken zu können glaubte. Eine Darstellung dieser bis gegen die Mitte des Jahrhunderts herrschenden Katastrophentheorie hat Cuvier in seinen „Umwälzungen der Erdrinde" gegeben, mit denen der Leser bereits durch die Lektüre des I. Bandes bekannt geworden ist[1]).

Erwähnen wir noch, daß Cuvier im Jahre 1817 unter dem Titel das „Tierreich" ein umfassendes Werk[2]) herausgab, so ist damit die Bedeutung dieses außerordentlichen Mannes zwar nicht erschöpft, doch in den wesentlichsten Punkten gewürdigt. Am 13. Mai des Jahres 1832 wurde er nach kurzer Krankheit seiner großartigen Tätigkeit durch den Tod entrissen. „Solange die Welt steht," äußerte ein hervorragender Zeitgenosse in einem Cuvier gewidmeten Nachruf[3]), „wird der Verstorbene als hellleuchtendes Gestirn am naturhistorischen Himmel glänzen und die Augen der Nachkommenden auf sich ziehen, um bei seinem Scheine den Reichtum der Natur zu bewundern, zu untersuchen, zu scheiden, zu ordnen, zu begreifen und zu benutzen."

Nachdem in der Anatomie die vergleichende Richtung über die einseitig beschreibende gesiegt hatte, konnte es nicht ausbleiben, daß auch der menschliche Organismus unter allgemeineren Gesichtspunkten betrachtet wurde. Schon Linné hatte dem Menschen einen Platz in seinem System, und zwar innerhalb der Ordnung der Primaten, angewiesen und dazu bemerkt, er habe bislang kein anatomisches Kennzeichen nachweisen können, wodurch der Körperbau des Menschen von demjenigen des Affen unterschieden sei. Aus dem Bemühen, den von Linné vermißten „Charakter der Humanität" aufzufinden, überhaupt den Menschen als ein Naturgeschöpf zu würdigen und zu verstehen, entsprang die Wissenschaft der Anthropologie, welche sich seit dem Erscheinen von Blumenbachs „Über die angeborene Verschiedenheit im Menschen-

1) Siehe Bd. I ds. Grdr., Abschnitt 49.

2) Cuvier, Règne animal.

3) Der deutsche Naturforscher Oken in der Zeitschrift „Iris", Jahrgang 1832, Seite 1303.

geschlecht" datieren läßt[1]). In dieser Schrift sucht Blumenbach den Nachweis zu führen, daß die Menschheit aus Rassen bestehe, welche aus einem gemeinschaftlichen Stamme hervorgegangen seien, ähnlich wie dies für die Spielarten der Haustiere zutrifft. Obgleich Blumenbach, dessen Anschauungen der 41. Abschnitt des I. Bandes wiedergibt[2]), durchaus nicht verkennt, daß derartige Spielarten durch kaum merkliche Übergänge ineinander überfließen, gelangt er doch zur Aufstellung seiner bekannten fünf Hauptrassen. Als ein wesentliches anatomisches Merkmal, welches den Menschen vom höheren Tiere, insbesondere vom Affen unterscheidet, betrachtet Blumenbach, den wir als einen der frühesten vergleichenden Anatomen und den Begründer der ethnographischen Schädellehre gelten lassen müssen, das vortretende Kinn und die dadurch bedingte aufrechte Stellung der unteren Vorderzähne, während der gleichfalls auf dem Gebiete der vergleichenden Anatomie schon vor Cuvier tätige Holländer Peter Camper (1722—1789) in einer vortrefflichen Arbeit über den Orang-Utang darauf hinwies, daß der Gesichtswinkel dieses höchststehenden Affen beträchtlich kleiner als derjenige der am tiefsten stehenden menschlichen Rassen sei.

Auch auf dem Gebiete der Botanik kam man durch die vergleichende Betrachtung der Formen zu wertvollen Ergebnissen. Während Jussieu und Decandolle durch eine solche sich über die Gesamtheit der Arten erstreckende Betrachtung zur Aufstellung des natürlichen Systems gelangen, sehen wir Wolff und Goethe den Beziehungen zwischen den einzelnen Organen der Pflanze nachspüren und diese Beziehungen in ihrer Lehre von der Metamorphose zum Ausdruck bringen. Den Grundgedanken seiner Lehre hat Wolff in folgenden Worten ausgesprochen: „In der ganzen Pflanze, deren Teile wir beim ersten Anblick als so außerordentlich mannigfaltig bewundern, sehe ich, nachdem ich alles reiflich erwogen, schließlich nichts anderes als Blätter und Stengel." Derselbe Gedanke[3]) wird von Goethe in seinem „Versuch über die Metamorphose der Pflanzen", mit dem der Leser bereits durch den ersten Band vertraut geworden ist[4]), bis ins einzelne ausgeführt. Dieser Gedanke ist

1) De generis humani varietate nativa, Göttingen, 1775.

2) Siehe Bd. I, S. 242.

3) A. Kirchhoff, Die Idee der Pflanzenmetamorphose bei Wolff und Goethe. 1867.

4) Siehe Bd. I ds. Grdr., Abschnitt 38.

auch heute noch der Ausgangspunkt der morphologischen Betrachtungsweise, so daß sich Goethe, dessen naturwissenschaftliche Arbeiten zum Teil erhebliche Schwächen aufweisen und überhaupt nur unter Berücksichtigung der Eigenart ihres Verfassers betrachtet werden dürfen, hier ein bleibendes Verdienst erwarb. Wolff und Goethe haben den Begriff „Metamorphose“, wie die gleichzeitig lebenden Systematiker den Begriff „Verwandtschaft“, zunächst als etwas Bildliches aufgefaßt. Doch läßt sich nicht verkennen, daß Goethe mit seinem intuitiven Denken später den Transformismus, d. h. die Lehre von dem wirklichen, im Lauf der Zeit erfolgten Entstehen der einen Form aus der anderen, vorgeahnt hat. So heißt es in seiner „Geschichte meines botanischen Studiums“: „Das Wechselhafte der Pflanzengestalt erweckte nun bei mir die Vorstellung, die uns umgebenden Pflanzenformen seien nicht ursprünglich determiniert und festgestellt, ihnen sei vielmehr eine glückliche Mobilität und Biegsamkeit verliehen, um in so viele Bedingungen, die über den Erdkreis auf sie einwirken, sich zu fügen und danach sich bilden und umbilden zu können.“

Der Gedanke, daß die Arten nicht konstant, sondern durch allmähliche Umbildung aus früheren Formen hervorgegangen seien, wurde jedoch in voller Klarheit erst von dem Franzosen Lamarck[1]), einem Zeitgenossen Cuviers, entwickelt. Indes gelang es Lamarck nicht, eine solche Umbildung, welche er zum Teil auf entsprechende Änderungen der Lebensbedingungen, vorzugsweise aber auf den Gebrauch und Nichtgebrauch der Organe zurückführte, hinreichend zu erklären. Manche seiner Ansichten, wie diejenige, daß der lange Hals der Giraffe von dem beständigen Hinaufrecken nach dem Laube der Bäume herrühre, wurden daher mit Recht verspottet. Dennoch blieb das Problem, für den Begriff der Verwandtschaft und die während der geologischen Entwicklung bewahrte Kontinuität der Lebewelt den Grund zu finden, nachdem es einmal aufgeworfen, die Triebfeder, welche zu fortgesetzter Spekulation und Beobachtung angeregt und endlich zu einer unser Zeitalter wenigstens in der Hauptsache befriedigenden Lösung geführt hat.

---

1) Lamarck, Philosophie zoologique. 1809.

6. Die Naturwissenschaften im Zeitalter der Entdeckung des Energieprinzips.

Der bisherige Gang der Entwicklung ließ erkennen, daß große, epochemachende Fortschritte auf den Nachweis eines Zusammenhanges zwischen den verschiedenen Gebieten und einer dementsprechenden Verknüpfung der Ideen zurückzuführen sind. So begründete Galilei die Dynamik, indem er die alltäglichsten Vorgänge in der Welt der irdischen Erscheinungen begrifflich und experimentell zergliederte; Keppler erkannte die Gesetze, nach welchen die Bewegung der Himmelskörper vor sich geht. Dann kam Newton und wies den Zusammenhang zwischen dem Wurf und der Zentralbewegung nach, indem er beide auf die Wirkung einer Stoßkraft und die konstante Anziehung der Himmelskörper zurückführte. Einer Ausdehnung der mechanischen Erklärungsweise auf die übrigen Gebiete der Naturwissenschaft stand zunächst die herrschende Vorstellung von den Imponderabilien im Wege, welche als Licht- und Wärmestoff, als elektrisches und magnetisches Fluidum, als Phlogiston und Lebensgeister einen ganz ungenügenden Ersatz für den heutigen Kraftbegriff bildeten. In manchen Fällen glaubte man sogar, ohne die Annahme übernatürlicher Einflüsse nicht auskommen zu können. Ja, Newton selbst war der Ansicht, daß nur durch derartige Einflüsse die Stabilität des Planetensystems aufrecht erhalten werde, und erst Laplace hat dargetan, daß eine solche Stabilität trotz aller Änderungen, welche die Bahnelemente der Planeten erleiden, gesichert erscheint.

Erst gegen das Ende des 18. und während der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts wurden die genannten mystischen Begriffe überwunden. Ermöglicht wurde dies dadurch, daß jene von der Philosophie schon früh gehegte Auffassung vom Wesen der Materie, die wir die atomistische nennen, durch Dalton auf den Rang einer naturwissenschaftlichen Theorie erhoben wurde. Jetzt erst konnte die mechanische Erklärungsweise auf die chemischen Vorgänge ausgedehnt werden, in welchen man fortan das Wechselspiel der Atome erblickte. Unter dem Einfluß der atomistischen Auffassung waren auch die ersten Ansätze der mechanischen Wärmetheorie zu stande gekommen. Ferner hatten Young und Fresnel die Lichterscheinungen unter der Annahme eines gleichfalls aus getrennten Teilchen bestehenden Weltäthers erklärt, während die Forschungen Oersteds und Ampères zahlreiche Beziehungen

zwischen den elektrischen und den magnetischen Vorgängen aufgedeckt hatten.

Es soll nun unsere Aufgabe sein zu zeigen, wie durch die Entdeckung neuer Tatsachen und Beziehungen auf allen Gebieten, sowie durch das Hinwegräumen veralteter Vorstellungsgebilde um die Mitte des 19. Jahrhunderts eine einheitliche, auf dem Energieprinzip beruhende Weltauffassung, das Fundament der heutigen Naturwissenschaft, vorbereitet und geschaffen wurde.

Wir beginnen mit der Astronomie, welche in dieser Periode einen ihrer größten Triumphe erlebte, indem „das geistige Auge einen Weltkörper sah, ihm seinen Himmelsort, seine Bahn und seine Masse anwies, ehe noch ein Fernrohr auf ihn gerichtet wurde“[1]). Der von Herschel im Jahre 1781 aufgefundene Uranus bereitete den Astronomen große Schwierigkeiten. Nachdem für diesen Planeten Beobachtungen vorlagen, welche sich über 40 Jahre erstreckten, war man zur Herstellung von Tafeln[2]) geschritten. Bald nach der Entdeckung des Uranus hatte sich ergeben, daß einzelne Stellungen dieses Planeten schon von älteren Astronomen[3]) im Verlauf des 18. Jahrhunderts vermerkt worden waren; nur hatte man diese Beobachtungen auf einen Stern 6. Größe, nicht aber auf einen unserem Sonnensystem angehörenden Weltkörper bezogen. Jene älteren Beobachtungen ließen sich jedoch nicht mit den neueren zu brauchbaren Tafeln vereinigen. Man verwarf daher die ersteren als ungenau, obgleich man damit den betreffenden Beobachtern gewaltige Fehler zur Last legte.

Als nach der erwähnten Herausgabe der Uranustafeln ein Vierteljahrhundert verflossen war, stellte sich indes dasselbe Verhältnis zwischen den neuesten und jenen Beobachtungen heraus, welche zur Aufstellung der Tafeln gedient hatten. Ein solcher Mangel an Übereinstimmung ließ sich nicht abermals einer Ungenauigkeit zuschreiben. Es erhob sich daher die Frage, ob die Theorie der Planetenbewegung etwa nicht genügend ausgebildet sei und das Gravitationsgesetz z. B. für größere Entfernungen keine strenge Gültigkeit besitze; oder ob der Uranus noch anderen Einflüssen gehorche neben denjenigen, welche die Sonne, Jupiter und Saturn auf ihn ausüben. Sollte es nicht unter der letzteren Annahme, so fragte man sich, möglich sein, durch ein aufmerksames

---

1) A. v. Humboldt, Kosmos II, Seite 211.

2) Tables astronomiques, publiées par le bureau des longitudes, contenant les tables de Jupiter, de Saturne et d'Uranus. Paris 1821.

3) Flamsteed, Bradley, Mayer.

Studium der Abweichungen, welche der Uranus darbietet, die bislang unbekannte Ursache dieser Abweichungen zu ermitteln und den Punkt am Himmel anzugeben, wo der fremde Körper, jene vermutliche Quelle aller Schwierigkeiten, seinen Sitz hat? Diese Frage war es, mit der sich um das Jahr 1845 auf Aragos Veranlassung ein junger, bis dahin kaum bekannter Franzose namens Leverrier beschäftigte[1]). Das Problem war offenbar eine Umkehrung der von Laplace zuerst bewältigten Störungsrechnung. Hatte man früher aus der Kenntnis der Elemente des störenden Körpers die Abweichungen des Planeten von der elliptischen Bahn berechnet, so galt es jetzt, aus der genauen Kenntnis dieser Abweichungen die Stellung und die Masse des störenden Weltkörpers zu ermitteln. Hierbei ließ sich Leverrier zunächst durch einige Analogieschlüsse leiten. Er nahm an, das zu entdeckende Gestirn sei von der Sonne doppelt so weit wie der Uranus entfernt und befinde sich in der Ebene der Ekliptik. Am 31. August des Jahres 1845 konnte er der Pariser Akademie die Bahnelemente, die Masse, den Ort und die scheinbare Größe des vermuteten Planeten mitteilen. Da sich die Berliner Sternwarte damals im Besitz einer sehr genauen Karte der von Leverrier angegebenen Gegend des Himmels befand, so wurde diese Warte von dem Ergebnis der Rechnung in Kenntnis gesetzt. An demselben Abend, als die Mitteilung aus Paris in die Hände Galles[2]) gelangte, welcher derzeit in Berlin die Stelle eines astronomischen Hilfsarbeiters inne hatte, gelang diesem die Entdeckung des gesuchten, später Neptun genannten äußersten Planeten.

Dem geschilderten glänzenden Erfolg der theoretischen Astronomie konnten sich die insbesondere von Bessel[3]) herbeigeführten Fortschritte der Beobachtungskunst würdig an die Seite stellen. Ermöglicht wurden diese Fortschritte durch die Vervollkommnung, welche die dioptrischen Instrumente in der Hand eines Fraunhofers und anderer hervorragenden Optiker erfahren hatten. Welch scharfe Messungen z. B. die im Jahre 1837 gelungene erste

---

[1]) Urbain Jean Joseph Leverrier, 1811 in St. Lô (Département La Manche) geboren, seit 1854 Direktor der Pariser Sternwarte, starb im Jahre 1877. Siehe Leverrier, Recherches sur les mouvements de la planète Uranus. Compt. rend. XXII, Seite 907 ff.

[2]) Joh. Gottfried Galle, geboren am 9. Juni 1812 in der Nähe von Gräfenhainichen, von 1851 bis 1896 Direktor der Sternwarte zu Breslau.

[3]) Über Bessels Leben siehe die Einleitung zum 61. Abschnitt des I. Bandes.

Bestimmung der Entfernung eines Fixsterns erforderte, ist dem Leser durch den 61. Abschnitt des I. Bandes bekannt geworden. Der Wert der von Bessel für den 61. Stern des Schwans ermittelten Parallaxe[1]) beträgt nämlich nur 0,31 Sekunden, was einer Entfernung von 12 Billionen Meilen entspricht. Spätere Ermittlungen haben den Wert der Parallaxe jenes Sterns zu 0,44″ und denjenigen für den der Sonne nächsten Stern, α Centauri, zu 0,75″ (entsprechend 4,3 Lichtjahren) ergeben.

Hatte die Entdeckung Leverriers bewiesen, daß auch die fernsten Glieder unseres Systems Newtons Gesetz der Attraktion gehorchen, so gelang es seit etwa 1830, die Gültigkeit dieses Gesetzes auch für die entlegensten Fixsternregionen durch Berechnung und Beobachtung der Doppelsternbahnen darzutun[2]) und auch hierdurch einer einheitlichen Auffassung des gesamten Naturgeschehens den Weg zu ebnen.

Letzteres erfolgte aber auf keinem Gebiete in gleichem Maße wie auf demjenigen der Physik, auf deren Boden eine solche Auffassung recht eigentlich erwachsen sollte, um dann für alle übrigen Zweige der Naturwissenschaft das verknüpfende Band zu werden. Der eigenartigste und bedeutendste Physiker, welcher uns in diesem der Entdeckung des Prinzips von der Erhaltung der Energie unmittelbar vorhergehenden Zeitabschnitt begegnet, ist der Engländer Faraday.

Michael Faraday wurde am 22. September 1791 in einem kleinen Orte in der Nähe von London geboren. Sein Vater war Hufschmied und gehörte zu einer aus der schottischen Kirche hervorgegangenen Sekte, welcher auch der Sohn bis an sein Lebensende treu geblieben ist. Vom 13. Jahre an mußte Faraday selbst für seinen Unterhalt sorgen. Er wurde zunächst Laufbursche und darauf Lehrling in einer Buchbinderei. Sein Interesse für die Naturwissenschaften wurde durch das Lesen der zum Einbinden bestimmten Bücher angeregt. Ohne die Berufsgeschäfte zu vernachlässigen, wußte er sich sogar durch einfache Versuche das Gelesene zu veranschaulichen. Ein Mitglied der Royal Institution, welches bei dem Meister Faradays arbeiten ließ, ermöglichte dem lernbegierigen Jüngling den Zutritt zu den Vorträgen Davys. Jetzt entbrannte in Faraday der Wunsch, gleichfalls wissenschaftlich

---

1) Siehe Bd. I, Seite 348, Anm. 1.

2) Franz Encke, Über die Berechnung der Bahnen der Doppelsterne. 1832.

arbeiten zu können. „In der Unkenntnis der Welt und der Einfalt meines Gemütes“, bekannte er später in den wenigen eigenen Aufzeichnungen, die wir über sein Leben besitzen[1]), „schrieb ich noch als Lehrling an den damaligen Präsidenten der Royal Society. Ich erkundigte mich bei dem Portier nach einer Antwort, aber natürlich vergebens.“ Mit besserem Erfolge wandte er sich darauf an Davy, dem er als Beweis seines Strebens die Ausarbeitung der gehörten Vorträge übersandte. Der Meister hatte für den eifrigen Jünger seiner Wissenschaft eine gütige Antwort und beschäftigte ihn mit schriftlichen Arbeiten, als er selbst durch eine Explosion am Auge verwundet war. Bald darauf bot ihm Davy die Stelle eines Gehilfen an dem Laboratorium der Royal Institution an. Faraday, welcher sich danach sehnte, aus seinem Gewerbe entlassen zu werden, nahm diese Stelle mit Freuden an. Der Gegenstand, der ihn zuerst beanspruchte, war kein angenehmer; es galt nämlich, den Chlorstickstoff zu untersuchen, eine Verbindung, deren Explosion die erwähnte Verletzung Davys herbeigeführt hatte. Auch Faraday entging einer solchen nicht. „Ich freue mich“, schrieb er damals an einen Freund, „daß ich Ihnen in Ruhe über unsere Erfolge berichten kann, denn ich bin, wenn auch nicht unverletzt, vier starken Explosionen dieses Stoffes entgangen. Die schlimmste erfolgte, während ich eine kleine Röhre hielt, in welcher $7^1/_2$ Gran Chlorstickstoff enthalten waren. Sie war so heftig, daß mir ein Teil des Nagels abgerissen wurde und die Stücke der Röhre in die gläserne Maske einschnitten, welche ich zum Glück vor hatte.“ Später gelang es Faraday, das Element Chlor und einige andere Gase, die man bisher für permanent gehalten hatte, zu verflüssigen.

Seinem eigentlichsten Arbeitsfelde, der Elektrizitätslehre, wurde er durch Oersteds epochemachende Entdeckung zugeführt. Man hatte sich in London die Aufgabe gestellt, statt der von Oersted gefundenen bloßen Ablenkung eine bleibende Rotation des Magneten durch den galvanischen Strom herbeizuführen. Der erste, dem die Lösung dieses Problems gelang, war Faraday[2]). Er beschwerte den einen Pol des Magneten mit Platin und ließ ihn dann derartig in einem mit Quecksilber gefüllten Gefäße schwimmen, daß der andere Pol aus der Flüssigkeit hervorragte. Wurde dann

[1]) Tyndall, Faraday und seine Entdeckungen. Braunschweig 1870. Seite 167 ff.

[2]) Faraday, Ann. de chim. et de phys. T. XVIII. Gilberts Annalen Band LXXI und LXXII.

ein Strom durch das Quecksilber von der Mitte nach dem Umfang geleitet, so rotierte der Magnet um die Achse des Gefäßes.

Neben dieser Erweiterung der von Oersted gemachten Entdeckung galt es auch, die Umkehrung des Phänomens, nämlich die Erzeugung von Strom durch Magnetismus, herbeizuführen. Wie Faraday diese Aufgabe bewältigte, hat uns der von seinen „Experimental-Untersuchungen“ handelnde 52. Abschnitt des I. Bandes gelehrt.

Die Veröffentlichung dieser berühmten „Experimental-Untersuchungen über die Elektrizität“[1]) begann im Jahre 1832. Das erste, was sie brachten, war der Nachweis, daß sowohl ein stromdurchflossener Leiter als auch ein Magnet Ströme in einem benachbarten Draht hervorzurufen vermögen, daß diese Induktionsströme aber nur von augenblicklicher Dauer sind und manche Ähnlichkeit mit der elektrischen Welle besitzen, in welcher die Entladung einer Leydener Batterie besteht[2]).

Die Entdeckung der Induktion führte Faraday sofort zum Verständnis einer bis dahin völlig rätselhaften Erscheinung. Im Jahre 1824 hatte Arago beobachtet, daß eine über einer Kupferscheibe schwingende Magnetnadel auffallend schnell zur Ruhe kommt. Versetzte man die Scheibe in Drehung, so wurde diese Bewegung auf den Magneten übertragen, während auch umgekehrt kräftige rotierende Magnete mehrere Pfund schwere Kupferscheiben mit sich herumführten[3]). Blieben Magnet und Scheibe in Ruhe, so war nicht das Geringste von einer zwischen beiden stattfindenden Anziehung oder Abstoßung zu bemerken. Jetzt war die Zeit für die Erklärung dieses sonderbaren Phänomens gekommen. In Faraday entstand die Vermutung, daß es sich hierbei um Induktionsströme handeln müsse. Um diese Ansicht auf ihre Richtigkeit zu prüfen, ließ er die Kupferscheibe zwischen den Polen eines starken Magneten rotieren. Auf dem Rande der Scheibe und an ihrer aus Metall bestehenden Achse befanden sich Schleifkontakte, welche mit dem Galvanometer in Verbindung

---

1) Experimental researches in electricity, 3 vol., London 1839—55. Dieselben erschienen, übersetzt von S. Kalischer, Berlin 1891. Das Gesamtwerk umfaßt 30 Reihen. Reihe I—XIII bildet den Inhalt der Nummern 81, 86, 87, 126 und 128 von Ostwalds Klassikern der exakten Wissenschaften. Leipzig. Verlag von Wilhelm Engelmann.

2) Näheres siehe Bd. I, Seite 295 u. f.

3) Ostwalds Klassiker Nr. 81, Seite 27 u. f. Die betreffenden Abhandlungen Aragos erschienen in den Ann. de chim. et de phys. T. XXVII, XXVIII und XXXII.

standen. Sobald nun gedreht wurde, zeigte eine Ablenkung der Galvanometernadel, daß die Scheibe während der Bewegung von induzierten Strömen durchflossen war. Jene Wechselwirkung zwischen dem bewegten Metall und dem Magneten ließ sich jetzt aus den bekannten Gesetzen der Elektrodynamik ableiten.

Faradays weitere Bemühungen liefen nun darauf hinaus, alle Zweifel zu beseitigen, ob man es bei den auf so verschiedene Weise erzeugten Elektrizitätsarten stets mit ein und derselben Naturkraft zu tun habe. Indem er ihre sämtlichen Wirkungen zusammenstellte und verglich, gelangte er zur Überzeugung, „daß die Elektrizität, aus welcher Quelle sie auch entsprungen sei, identisch ist in ihrer Natur[1])". Bei dieser Untersuchung wurde seine Aufmerksamkeit besonders durch die chemische Wirkung der Elektrizität gefesselt, auf welche sich eine zweite Gruppe seiner Entdeckungen bezieht. Zunächst schuf er für dieses Gebiet die noch heute gebräuchlichen Benennungen. Die Ein- und Austrittsstelle des Stromes, früher als Pole bezeichnet, nannte er Elektroden; der zu zersetzende Körper wurde Elektrolyt, der Vorgang selbst Elektrolyse, und die Produkte der Zersetzung wurden Ionen genannt. Das Anion, z. B. der bei der Zerlegung des Wassers auftretende Sauerstoff, wandert an die Anode, das ist die Eintrittsstelle des Stromes, während das Kation, in dem angezogenen Beispiel der Wasserstoff, an die Kathode oder Austrittsstelle geht.

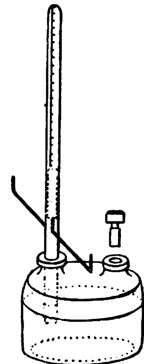


Abb. 82. Faradays Voltaelektrometer[2]).

Es ergab sich nun zunächst, daß die zersetzende Wirkung des Stromes der Elektrizitätsmenge proportional ist und nicht etwa von der Konzentration des Elektrolyten oder von der Größe der Elektroden abhängt[3]). Auf dieses Gesetz gründete Faraday dann einen Apparat, welcher die hindurch gegangene Elektrizitätsmenge zu messen gestattet. Eine oben geschlossene graduierte Röhre (siehe Abb. 82), durch deren Seiten zwei eingeschmolzene, in Platten endigende Platindrähte gehen,

1) Ostwalds Klassiker Nr. 86, Seite 33.

2) Faradays Experimentaluntersuchungen, VII. Reihe, 5. Abschnitt. (Ostwalds Klassiker Nr. 87, Fig. 9).

3) Ostwalds Klassiker Nr. 87, Seite 48.

wird in eine der Mündungen einer zweihalsigen Flasche gesteckt. Letztere wird etwa zur Hälfte mit Wasser versehen, welches einen Zusatz von Schwefelsäure erhält. Durch entsprechendes Neigen wird die Röhre mit dieser Flüssigkeit gefüllt. Leitet man dann einen elektrischen Strom durch das Instrument, so sammelt sich das an den Platinplatten entwickelte Gas in dem oberen Teil der Röhre und kann hier gemessen werden.

Um Vergleiche über die zersetzende Wirkung des elektrischen Stromes anzustellen, brachte Faraday seinen Apparat, den er als Voltaelektrometer oder kürzer als Voltameter bezeichnete, in denselben Stromkreis, in welchem sich der zu untersuchende Elektrolyt, z. B. Zinnchlorür ($SnCl_2$), befand. Der Platindraht P tauchte in das geschmolzene Chlorür und wurde (siehe Abb. 83) mit dem negativen, das Voltameter N dagegen mit dem positiven Ende einer galvanischen Batterie verbunden. Nachdem sich eine genügende Menge Gas in N gesammelt hatte, wurde gemessen und das an der Kathode ausgeschiedene Zinn gewogen. In dem von Faraday mitgeteilten Beispiele[2]) hatten sich 3,85 Kubikzoll (0,49742 Gran) Knallgas gebildet, während die negative Elektrode eine von dem ausgeschiedenen Zinn herrührende Gewichtszunahme von 3,2 Gran aufwies. Dem Gewicht des Wasserstoffs ($^1/_9$ von 0,49742) entsprach demnach die 57,9fache Menge Zinn, eine Zahl, welche mit dem Äquivalentgewicht dieses Elementes nahezu übereinstimmt. Dieser und zahlreiche ähnliche Versuche ergaben als elektrolytisches Grundgesetz, daß die Abscheidung der Ionen durch ein- und denselben Strom stets im Verhältnis der chemischen Äquivalente stattfindet.

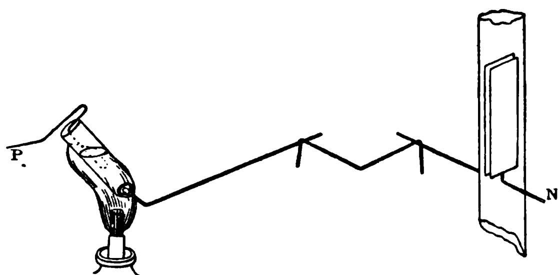


Abb. 83. Faraday zerlegt Zinnchlorür zum Nachweis des elektrolytischen Grundgesetzes[1]).

Durch seine Arbeit über die zersetzende Wirkung der galvanischen Säule gelangt nun Faraday, noch bevor Robert

[1]) Faradays Experimentaluntersuchungen, VII. Reihe (Ostwalds Klassiker Nr. 87, Fig. 14).

[2]) Ostwalds Klassiker Nr. 87, Seite 77.

Mayer das Gesetz von der Erhaltung der Energie aussprach, zu Anschauungen, welche sich mit diesem allumfassenden Prinzip vollkommen decken. „Die Kontakttheorie“, so lauten seine Worte[1]), „nimmt an, daß ohne irgend einen Wechsel in der wirkenden Substanz und ohne den Verbrauch von irgend einer Triebkraft ein Strom gebildet werden könne, der im stande ist, einen mächtigen Widerstand zu überwinden und Körper zu zerlegen. Es wäre dies in der Tat die Erschaffung einer Kraft aus nichts. Es gibt mancherlei Vorgänge, bei welchen die Erscheinungsform sich in der Weise ändert, daß eine Umwandlung einer Kraft in die andere stattfindet. Auf diese Weise können wir chemische Kräfte in elektrischen Strom oder diesen in chemische Kraft verwandeln. Die schönen Versuche von Seebeck[2]) beweisen den Übergang von Wärme in Elektrizität, und andere von Oerstedt[3]) und mir angestellte Experimente die gegenseitige Verwandlungsfähigkeit von Elektrizität und Magnetismus. Allein in keinem Falle, nicht einmal bei den elektrischen Fischen, findet eine Erschaffung oder eine Erzeugung von Kraft statt, ohne einen entsprechenden Verbrauch von etwas anderem.“ Diese Worte lassen erkennen, daß große wissenschaftliche Wahrheiten, noch ehe sie zum vollen Durchbruch gelangen, oft mehr oder weniger deutlich in dem allgemeinen Bewußtsein ihrer Zeit schlummern.

Von dem Bestreben, neue Beziehungen zwischen den Kräften aufzudecken, sehen wir Faraday stets erfüllt. Aus der Überzeugung, daß solche Beziehungen auch zwischen der Elektrizität und dem Lichte bestehen, entsprang sein berühmter Versuch der Magnetisierung des Lichtes[4]). Nachdem alle Bemühungen, einen unmittelbaren Einfluß des Magneten auf einen gewöhnlichen Lichtstrahl nachzuweisen, erfolglos gewesen waren, brachte Faraday ein Stück Glas zwischen die Pole eines kräftigen Elektromagneten, so daß es über die Ebene dieser Pole hinausragte. Durch das Glas wurde dann in axialer Richtung[5]) ein polarisierter Lichtstrahl geleitet und der analysierende Nikol so gestellt, daß der Strahl erlosch. Wurde jetzt der Elektromagnet erregt, so erhellte sich

---

1) Tyndall, Faraday und seine Entdeckungen. Braunschweig, 1870. Seite 59.

2) Siehe Seite 360 ds. Bds.

3) Siehe Seite 334 ds. Bds.

4) Faraday, Experimental researches ser. XIX. Siehe auch Poggendorffs Annal. Bd. LXVIII, Seite 105.

5) D. h. in der Verbindungslinie der Pole.

das Gesichtsfeld und konnte nur durch eine entsprechende Drehung des Analysators wieder verdunkelt werden. Die Polarisationsebene des Lichtes hatte somit unter der Wirkung des Magneten eine Drehung erfahren.

Dieses Ergebnis brachte Faraday auf den Gedanken, den Einfluß des Magnetismus auf sämtliche Stoffe zu untersuchen[1]). Zunächst wurde ein Stück jenes Glases, welches ihm beim vorigen Versuch gedient hatte, zwischen den Polen eines sehr kräftigen Elektromagneten aufgehängt. Das Glas nahm darauf die Querstellung an, ein Beweis, daß es abgestoßen wurde, während sich ein Eisen- oder Wismutstäbchen infolge einer von den Polen ausgehenden Anziehung axial stellte. Die weitere Untersuchung ergab nun, daß alle Stoffe, einschließlich der flüssigen und der gasförmigen, sich entweder wie das Eisen oder wie jenes Glas verhalten. Im ersteren Falle nannte Faraday den Stoff paramagnetisch, während er im anderen Falle als diamagnetisch bezeichnet wurde.

Faradays Bemühungen, eine Beziehung zwischen der Elektrizität und der Schwerkraft aufzufinden, blieben ohne Ergebnis. In dem Nachweis, daß der Magnetismus eine auf sämtliche Stoffe wirkende Kraft ist, bestand seine letzte große Entdeckung. Er starb am 25. August des Jahres 1867 in dem Hause, welches ihm die Königin etwa zehn Jahre zuvor geschenkt hatte.

Faraday faßte bei seinen Untersuchungen vorzugsweise die qualitative Seite der Naturerscheinungen ins Auge. Als Autodidakt besaß er nicht die nötige mathematische Schulung, um den quantitativen Beziehungen in gleicher Weise gerecht zu werden. Das Ohmsche Gesetz z. B., welches besagt, daß die Stromstärke proportional der elektromotorischen Kraft und umgekehrt proportional dem Leitungswiderstande ist, wurde von Faraday fünf Jahre, nachdem Ohm es veröffentlicht hatte[2]), noch nicht berücksichtigt[3]). Die quantitative Seite des Magnetismus wurde gleichfalls erst in Deutschland genügend gewürdigt, wo Gauß die Intensität dieser Naturkraft bestimmte[4]) und die Grundlagen für das absolute Maß-

---

1) Faraday, Experim. research. ser. XX oder auch Poggendorffs Ann. Bd. LXIX.

2) G. S. Ohm, Die galvanische Kette, mathematisch bearbeitet, Berlin 1827.

3) A. J. v. Oettingen in „Ostwalds Klassikern" Nr. 87, Seite 178.

4) C. F. Gauß, Die Intensität der magnetischen Kraft auf absolutes Maß zurückgeführt; herausgegeben von E. Dorn als 53. Bd. von Ostwalds Klassikern der exakten Wissenschaften.

system schuf, welches Wilhelm Weber dann auf das galvanische Gebiet ausdehnte.

Auch die Wärmelehre erfuhr zu dieser Zeit einen wesentlichen Fortschritt, indem besonders durch Melloni[1]) die Identität der Licht- und Wärmestrahlen nachgewiesen wurde. Der von Melloni zu diesem Zwecke benutzte Apparat ist die Thermosäule in Verbindung mit dem Multiplikator (der Thermomultiplikator). Vermittelst desselben gelang es, nicht nur die Reflexion und Brechung, sondern auch die Beugung, Interferenz, Doppelbrechung und Polarisation der strahlenden Wärme, kurz, deren völlige Übereinstimmung mit dem Lichte darzutun. Während Herschel die Möglichkeit einer Identität der Licht- und Wärmestrahlen wohl in Betracht gezogen hatte, aber zu dem Schluß gekommen war, daß eine solche nicht vorhanden sei[2]), wurde durch Melloni und seine Mitarbeiter[3]) der Beweis erbracht, daß es nur eine Art von Strahlen gibt und daß alle Unterschiede, durch welche die optischen, thermischen und chemischen Wirkungen bedingt sind, auf Verschiedenheiten in der Wellenlänge und der Intensität zurückgeführt werden müssen.

Wir haben hiermit in der Hauptsache diejenigen großen Errungenschaften der Physik kennen gelernt, welche eine einheitliche Auffassung des Naturgeschehens anbahnten, und wollen jetzt, unter dem gleichen Gesichtspunkte, die Fortschritte der Chemie während dieses der Aufstellung des Prinzips von der Erhaltung der Energie unmittelbar vorhergehenden Zeitraumes verfolgen. Zunächst ist zu erwähnen, daß diese Wissenschaft durch die Begründung der Elektrochemie, sowie einer elektrochemischen Theorie des Galvanismus und der chemischen Verwandtschaft in die engste Fühlung mit der Elektrizitätslehre gekommen war. Den klarsten Ausdruck fand jene Theorie, der schon Davy[4]) gehuldigt hatte,

---

1) Macedonio Melloni, geboren den 11. April 1798 in Parma, gestorben den 11. August 1854, war Professor der Physik zu Parma, später Direktor des Konservatoriums der Künste und Gewerbe zu Neapel. Seine zahlreichen Abhandlungen über strahlende Wärme erschienen in den „Annales de Chimie et de Physique", sowie in Poggendorffs Annalen.

2) Philosophical Transactions, 1800,$_{437}$.

3) Neben Melloni haben sich besonders Knoblauch, Magnus, Tyndall und Leslie um die Erforschung der strahlenden Wärme verdient gemacht.

4) Philosoph. Transact. 1807,$_{1}$.

durch Berzelius[1]). Ausgehend von der Tatsache, daß alle verschiedenartigen Stoffe entgegengesetzt elektrisch werden, wenn sie sich berühren, nahm Berzelius an, jedes Atom besitze mindestens zwei Pole, deren Elektrizitätsmengen verschieden groß seien. Je nachdem die positive oder die negative Elektrizität vorherrschend wäre, sollten die Teilchen bei der Elektrolyse an die negative oder an die positive Elektrode wandern, während die chemische Vereinigung in dem Ausgleich der entgegengesetzten Elektrizitäten bestände. Infolge dieses Ausgleiches sollten dann Licht und Wärme auf dieselbe Weise entstehen, wie es bei der Leydener Flasche, dem Gewitter und der galvanischen Säule der Fall ist[2]). Diese ältere elektrochemische Theorie hat zwar den Tatsachen gegenüber nicht Stand gehalten, aus ihr ist aber die neuere Lehre vom galvanischen Strom hervorgegangen.

Die bedeutendste Erscheinung, welche uns jetzt zu beschäftigen hat, ist die in dieser Periode erfolgende Begründung der organischen Chemie, eine trotz aller anerkennenswerten Mitwirkung der übrigen Nationen vorwiegend deutsche Geistestat. Zwar hatte Scheele eine Anzahl wohl charakterisierter organischer Verbindungen kennen gelehrt. Lavoisier hatte dann gezeigt, daß die organischen Substanzen aus denselben Elementen bestehen, welche sich an der Bildung unorganischer Verbindungen beteiligen. Es waren dies Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff und in gewissen Fällen kleine Mengen von Schwefel und Phosphor. Der älteste, schon von Hales beschrittene Weg, um über die Zusammensetzung von Stoffen des Tier- und Pflanzenreiches Aufschluß zu erlangen, bestand in der trockenen Destillation und in der Untersuchung der hierbei auftretenden Produkte. Lavoisier verfuhr dagegen in der Weise, daß er den zu analysierenden Körper in Sauerstoff verbrannte und ihn dadurch in Verbindungen von bekannter Zusammensetzung (Wasser und Kohlendioxyd) überführte, deren Menge er zwar zu bestimmen suchte, ohne jedoch hinlänglich genaue Ergebnisse zu erhalten. An die Stelle der durch Quecksilber abgesperrten Glocke Lavoisiers trat dann später die Verbrennungsröhre, in welcher die zu untersuchende Substanz mit Sauerstoff abgebenden Mitteln, wie Kaliumchlorat oder Kupferoxyd, erhitzt wurde. Ihre Vollendung erhielt die organische Elementaranalyse

---

[1]) Berzelius, Versuch über die Theorie der chemischen Proportionen und über die chemischen Wirkungen der Elektrizität. Dresden 1820.

[2]) a. a. O. Seite 79.

aber erst durch Liebig, dessen zur Bestimmung des Kohlendioxyds geschaffener Kugelapparat[1]) das Symbol der organischen Chemie geworden ist.

Wie zur Elementaranalyse, so hatte Lavoisier auch zur ersten Theorie der organischen Verbindungen den Anstoß gegeben. In dem chemischen Lehrgebäude dieses Forschers spielte bekanntlich der Sauerstoff die wichtigste Rolle. Denjenigen Bestandteil einer Verbindung, welcher nach Abzug des Sauerstoffes übrig bleibt, nannte Lavoisier die Basis oder das Radikal der Verbindung. Für die anorganischen Körper ergab sich in der Regel, daß dieses Radikal ein Element ist, während es bei den dem Tier- und Pflanzenreich entstammenden Substanzen aus zwei oder mehr Grundstoffen besteht. Eine wesentliche Stütze erhielt diese Ansicht, als Gay-Lussac in dem Cyan eine solche Gruppe erkannte, welche in einer größeren Anzahl von Verbindungen die Rolle eines Elementes spielt[2]).

Als die eigentlichen Schöpfer der Radikaltheorie sind jedoch Liebig und Wöhler zu bezeichnen. In einer gemeinschaftlichen Arbeit über die Benzoesäure[3]) wiesen beide nach, daß eine Anzahl aus dem Bittermandelöl darstellbarer Verbindungen, darunter die Benzoesäure, ein aus drei Elementen bestehendes Radikal enthalten, von denen das eine Sauerstoff ist. Der seit Lavoisier festgehaltene Gesichtspunkt, nach welchem dieses Element den Radikalen gegenüber eine besondere Stelle einnimmt, mußte somit aufgegeben werden. Dafür hatte aber die organische Chemie, die ihre Hauptaufgabe zunächst in der Zurückführung der stetig wachsenden Schar ihrer Verbindungen auf unveränderliche Atomgruppen erblickte, einen gewaltigen Impuls empfangen, so daß Berzelius von jener Abhandlung der beiden deutschen Forscher wohl sagen durfte, daß sie für die Chemie der Kohlenstoffverbindungen den Anfang eines neuen Tages ankünde.

Liebigs wissenschaftlicher Bedeutung entsprach seine hervorragende Lehrtätigkeit. Im Alter von 21 Jahren war Liebig (geboren am 13. Mai 1803 zu Darmstadt), nachdem er seine Vorbildung im Laboratorium Gay-Lussacs abgeschlossen hatte,

[1]) Siehe Liebigs Anleitung zur Analyse organischer Körper. Braunschweig 1837. 2. Aufl. 1853.

[2]) Siehe Seite 365 ds. Bds.

[3]) Wöhler und Liebig, Untersuchungen über das Radikal der Benzoësäure, in den Annalen der Pharmacie, Bd. 3, Seite 249 ff. Neuerdings herausgegeben von Hermann Kopp als Nr. 22 von Ostwalds Klassikern der exakten Wissenschaften. Leipzig, Verlag von Wilhelm Engelmann. 1891.

Professor an der Universität Gießen geworden. Hier entstand nach seinen Plänen das erste chemische Laboratorium in Deutschland und eine Schule, welche diesem Lande die führende Rolle auf dem Gebiete der chemischen, insbesondere der organisch-chemischen Forschung bis auf den heutigen Tag gesichert hat. „Ein eigentlicher Unterricht,“ schrieb Liebig später[1]), „bestand nur für die Anfänger. Meine Schüler lernten nur im Verhältnis zu dem, was sie mitbrachten. Ich gab die Aufgaben und überwachte die Ausführung. Eine einheitliche Anleitung gab es nicht; ich empfing von jedem einzelnen jeden Morgen einen Bericht über das, was er am vorhergehenden Tage getan, sowie seine Ansichten über das, was er vorhatte. Ich stimmte bei oder machte Einwendungen. Jeder war genötigt, seinen eigenen Weg zu suchen.“ Das ist die wahre akademische Freiheit, welche Liebig hier gepredigt und geübt hat. Wissenschaftlich reif werden, heißt ihre Losung; und daß sich zahlreiche Jünger herandrängten und im Geiste Liebigs weiterarbeiteten, hat der Chemie in wenigen Jahrzehnten jene außerordentliche, sich über alle Gebiete der übrigen Naturwissenschaften und der Praxis erstreckende Bedeutung gegeben, welche sie heute besitzt. Von dem Wesen seiner Wissenschaft suchte Liebig auch in dem gebildeten Laien eine Vorstellung zu erwecken, und zwar geschah dies durch seine chemischen Briefe, ein Werk, das zu dem Besten gehört, was je auf dem Gebiete der populär-wissenschaftlichen Literatur geschaffen wurde, und auch heute noch gelesen zu werden verdient[2]).

Mit dem einzigen Deutschen, der an ihn auf dem Gebiete der Chemie heranreichte, mit Friedrich Wöhler[3]), wurde Liebig durch eine der folgenreichsten Streitfragen bekannt. Liebigs erste Arbeit betraf das durch seine explosiven Eigenschaften sehr gefährliche Knallsilber. Kurz vorher hatte Wöhler das völlig harmlose cyansaure Silber untersucht. Als Liebig die Analysen beider Salze verglich, stellte sich heraus, daß diese grundverschiedenen Verbindungen völlig gleich zusammengesetzt sind. Da ein Irrtum, den Liebig anfangs vermutet hatte, nicht vorlag, so mußte der bis dahin geltende Grundsatz, daß Stoffe von derselben

---

1) J. v. Liebigs biographische Aufzeichnungen. Vergl. die Berichte der Deutschen chemischen Gesellschaft. XXIII,785.

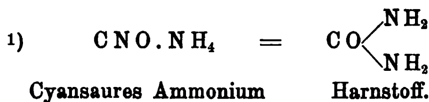
2) J. v. Liebig, chemische Briefe erschienen 1844 und erlebten seitdem viele Neuauflagen und Übersetzungen.

3) Über Wöhlers Leben siehe die Einleitung zum 48. Abschnitt des I. Bandes.

qualitativen und quantitativen Zusammensetzung identisch seien, aufgegeben werden. Die Erscheinung wurde als Isomerie bezeichnet und aus einer verschiedenartigen Anordnung der Atome erklärt. Damit war die Frage nach dem Aufbau der organischen Verbindungen, welche eine Triebfeder für alle weiteren Forschungen auf diesem Gebiete geworden ist, in den Vordergrund des Interesses gerückt.

Wöhlers Untersuchungen über die Cyansäure führten bald darauf zu einer Entdeckung von solcher Bedeutung, daß man mit ihr wohl die neuere Epoche der organischen Chemie anheben läßt. Bis zum Jahre 1828 herrschte die Ansicht, daß die Verbindungen des Tier- und Pflanzenreiches nur unter der Mitwirkung einer besonderen, zu den Kräften der organischen Natur in einem gewissen Gegensatz stehenden Lebenskraft gebildet werden könnten. Berzelius hatte noch im Jahre 1827 die organische Chemie als die Wissenschaft von denjenigen Stoffen bezeichnet, die unter dem Einfluß der Lebenskraft entständen. Ein Jahr später konnte Wöhler an ihn schreiben: „Ich muß Ihnen erzählen, daß ich Harnstoff machen kann, ohne dazu Nieren oder überhaupt ein Tier nötig zu haben.“ Dieser ersten Synthese einer organischen Verbindung, welche in einer intramolekularen Umwandlung des cyansauren Ammoniums in Carbamid (Harnstoff)[1]) bestand, hat sich später die Darstellung einer großen Anzahl von organischen Substanzen angeschlossen. Infolgedessen ist der Glaube an eine besondere Lebenskraft der Überzeugung gewichen, daß die Umsetzungen in den Organismen von denselben Regeln beherrscht werden, wie die leichter unserem Verständnis sich erschließenden Vorgänge in der anorganischen Natur, so daß einer einheitlichen Auffassung des gesamten Geschehens auch durch die neuere Chemie vorgearbeitet wurde.

Von dem Gedanken geleitet, daß das Studium der in den Gewächsen sich abspielenden Veränderungen am ehesten die Erkenntnis des Lebensprozesses ermöglichen werde, hatte Stephan Hales die ersten Schritte zur Begründung einer Ernährungsphysiologie der Pflanzen unternommen. Ein erfolgreiches Eindringen in diesen Gegenstand war jedoch erst möglich, nachdem die Rolle des Sauerstoffs erkannt und die Chemie auf eine wissenschaftliche



1) $CNO.NH_4 = CO\langle{}^{NH_2}_{NH_2}$

Cyansaures Ammonium — Harnstoff.

Grundlage erhoben war. Schon vor der Entdeckung des Sauerstoffes hatte Priestley beobachtet, daß durch die Atmung oder durch ein brennendes Licht „verdorbene“ Luft wieder „heilsam“ gemacht werde, wenn Pflanzen darin wachsen. Das heißt: Luft, in welcher ein Licht erlosch, wurde durch die Pflanzen in solchem Grade verbessert, daß das Licht wieder darin fortbrannte. Im Zusammenhange mit dieser Tatsache fand Priestley, daß die in den Blasen des Seetangs befindliche Luft sogar „besser“ als die atmosphärische Luft ist. Als ein Anzeichen für die „Güte“ der Luft diente ihm dabei bekanntlich die Zusammenziehung, welche sich in seinem Salpetergaseudiometer einstellte[1]).

Der eigentliche Entdecker der Assimilation und der Atmung der Pflanzen ist der Holländer Ingenhouß (1730—1799), welcher im Jahre 1769 eine ausführliche Arbeit[2]) über diesen Gegenstand veröffentlichte. Ingenhouß lieferte darin den Nachweis, daß die meisten Pflanzen die „verdorbene Luft“ im Sonnenlichte schnell verbessern, daß sie dagegen zur Nachtzeit Kohlendioxyd ausscheiden oder die Luft „unrein“ machen, wie er sich damals, bevor die antiphlogistische Lehre bekannt geworden war, noch ausdrückt. Die Verbesserung der Luft geht nach Ingenhouß jedoch nur von den grünen Stengeln und Blättern, und zwar besonders von der unteren Seite der letzteren aus; sie besteht in der Abscheidung von Sauerstoff, welcher das zur Nachtzeit ausgeatmete Kohlendioxyd (von Ingenhouß noch als schädliche Luft bezeichnet) an Menge mehrere hundert Mal übertrifft. Hieran schloß sich dann die Erkenntnis[3]), daß der ausgeschiedene Sauerstoff von der Zersetzung des Kohlendioxyds herrührt, welches durch die Prozesse der Verbrennung, Atmung und Gärung in die atmosphärische Luft gelangt.

Nachdem auch für die Chemie das Zeitalter der quantitativen Untersuchungen gekommen war, galt es, die neue Methode auf die ihrem qualitativen Verlaufe nach erkannten Vorgänge der Ernährungsphysiologie anzuwenden. Daß dies geschah, ist das Verdienst Saussures, mit dessen Werk[4]) der Leser durch den 40. Abschnitt des I. Bandes bekannt geworden ist. Saussure bemerkte, daß

---

1) Siehe Seite 303 ds. Bds.

2) Ingenhouß, Versuche mit Pflanzen; übersetzt von Scherer, 1786.

3) Durch Senebier; siehe Bd. I, Seite 236.

4) Théodore de Saussure, Recherches chimiques sur la végétation. Paris 1804. Übersetzt herausgegeben von Dr. A. Wieler als 15. und 16. Band von Ostwalds Klassikern.

die Pflanzen, während sie Kohlenstoff assimilieren, gleichzeitig die Elemente des Wassers sich aneignen, welches dabei seinen flüssigen Zustand verliert und zur Vermehrung der Trockensubstanz beiträgt. Seine Untersuchungen betrafen ferner die Aufnahme gelöster Bodenbestandteile durch die Wurzeln, sowie die Zusammensetzung der Pflanzenasche. Saussure hatte ermittelt, daß die Pflanzen ihre mineralischen Nährstoffe nicht nur den Salzlösungen des Bodens, sondern zum Teil auch dem Humus, d. h. dem in der Erde verwesenden Stoff abgestorbener Pflanzenteile entnehmen. Die Bedeutung der letzteren wurde indes während der ersten Jahrzehnte des 19. Jahrhunderts überschätzt. Es bildete sich eine Theorie heraus, welche in dem Humus den wichtigsten Nährstoff der Pflanzen erblickte und in der widersinnigen Annahme gipfelte, daß der Humusgehalt des Bodens durch die Vegetation allmählich erschöpft werde. An diesem Punkte setzte Liebig ein. „Seine Hand, welche niemals einen Pflug geführt, lieferte der ältesten aller menschlichen Gewerbtätigkeiten, dem Ackerbau, den Schlüssel zum Verständnis tausendjähriger Gepflogenheiten [1].“ Durch die Ernte werden dem Boden anorganische Bestandteile entzogen. Da letztere unerläßliche Nährstoffe für die Pflanzen sind, so muß es als Grundsatz des Ackerbaues gelten, dem Boden in vollem Maße dasjenige wiederzugeben, was ihm genommen wird. Auf welche Art diese Wiedergabe erfolgt, ob in der Form von Auswurfsstoffen, in welchen die Tiere die von den Pflanzen erhaltenen Mineralbestandteile wieder ausscheiden, ob als Asche, Knochen u. s. w., ist ziemlich gleichgültig. Man wird daher den Acker auch mit kieselsaurem Alkali, phosphorsaurem Salz und ähnlichen Erzeugnissen düngen können, die sich in chemischen Fabriken herstellen lassen. Der Erfolg sollte bald die Richtigkeit dieser von Liebig vorgetragenen Lehren beweisen. Landwirtschaftliche Versuchsanstalten wurden überall errichtet; um den Bedarf an künstlichem Dünger zu decken, trat eine wichtige Industrie ins Leben. Nicht minder aber wurde durch die Ausdehnung wissenschaftlicher Grundsätze auf das Gebiet der Gewerbtätigkeit einer einheitlichen Betrachtung der gesamten Erscheinungswelt der Boden bereitet.

Letzteres geschah in gleichem Maße durch die enge Verknüpfung, welche die Botanik und die Zoologie erfuhren, indem

---

[1]) Wie A. W. v. Hofmann auf der 63. Vers. deutscher Naturf. und Ärzte sich ausdrückte. Siehe auch v. Hofmann, J. v. Liebig und Fr. Wöhler, zwei Gedächtnisreden. Leipzig 1891. Seite 24.

Schwann den Nachweis lieferte, daß sämtliche Lebewesen aus denselben Elementargebilden zusammengesetzt sind. Mit dem Beginn des 19. Jahrhunderts war die seit den Zeiten Malpighis und Grews vernachlässigte mikroskopische Forschung wieder in den Vordergrund getreten. Während die älteren Beobachter das Hauptgewicht auf die formbestimmende Zellwand gelegt hatten, erkannte man die letztere jetzt als das Sekundäre und den Zellinhalt als den eigentlichen Sitz der Lebensvorgänge. Die schon während des 18. Jahrhunderts[1]) in der Pflanzenzelle wahrgenommenen Bewegungen wurden als ein Kreisen dieses Zelleninhaltes oder Protoplasmas gedeutet. Man bemerkte, daß ein Teil des letzteren eine gewisse Beständigkeit besitzt, und nannte diesen Kern[2]). Ferner war auf die Ähnlichkeit des Gefüges gewisser tierischer Gewebe mit dem zelligen Bau der Pflanzen schon öfter hingewiesen worden, als Schwann es unternahm, durch seine sich über alle Teile des Tieres erstreckenden „Mikroskopischen Untersuchungen“[3]) die Übereinstimmung in dem Aufbau und dem Wachstum aller Lebewesen darzutun. Nach Schwanns Ausspruch ist die Zellenbildung das gemeinsame Entwicklungsprinzip für die verschiedensten Teile der Organismen. Diese kühne Verallgemeinerung, deren Nachweis bis in alle Einzelheiten erst im Laufe der nachfolgenden Jahrzehnte geschehen konnte, hat nicht weniger wie alle übrigen in diesem Abschnitt dargestellten Fortschritte das wissenschaftliche Denken in neue Bahnen lenken helfen.

Die Beseitigung mystischer Vorstellungen, sowie die Zurückführung alles Geschehens auf sicher gestellte, aus der Erfahrung geschöpfte Begriffe wurde jetzt zur Losung. Ihr gegenüber konnte auch die Geologie, welche von jeher ein beliebter Tummelplatz der Hypothesen gewesen war, nicht länger an der Katastrophentheorie Cuviers[4]) und seiner Annahme wiederholter Schöpfungen festhalten. Hervorgerufen durch Lyell[5]), entstand die neuere Richtung dieser Wissenschaft. Unter der Voraussetzung, daß die gestaltenden Kräfte während der verflossenen und der heutigen Periode gleichartig gewesen und der gesamte Naturverlauf ohne Unterbrechung vor sich gegangen sei, erklärte man jetzt die gewaltigen Veränderungen, welche die Erdrinde aufweist, aus der

---

1) Von Corti, 1772.

2) Robert Brown, 1831.

3) Siehe Bd. I ds. Grdrs., Seite 286 ff.

4) Siehe Bd. I, 49. Abschnitt.

5) Siehe Bd. I, 50. Abschnitt.

vieltausendfachen Summierung unbedeutender Einflüsse. Der Unterschied der Faunen und Floren früherer Perioden von der heutigen Lebewelt blieb dabei zunächst zwar ein Rätsel, bis die schon von Lamarck behauptete Verknüpfung aller organischen Bildungen in der Lehre vom Transformismus zur Anerkennung gelangte [1]).

Einen beredten Ausdruck fand das in dieser Zeit zum Durchbruch kommende Bestreben, „die körperlichen Dinge in ihrem allgemeinen Zusammenhange aufzufassen“ in Alexander von Humboldts Kosmos. Die Aufgabe, eine physische Weltbeschreibung zu liefern, wurde durch dieses Werk zwar glänzend gelöst. Die Natur als ein „durch innere Kräfte bewegtes und belebtes Ganze“ [2]) zu erkennen, ward aber der Wissenschaft erst beschieden, nachdem Robert Mayer, Joule und Helmholtz das Prinzip von der Erhaltung der Energie gefunden hatten.

Mayer [3]) ging bei der Aufstellung dieses Prinzips von physiologischen Beobachtungen aus. Als er sich im Jahre 1840 in Java befand, fiel es ihm bei Aderlässen auf, daß das Blut der Armvene eine ungemeine Röte besaß, so daß man glauben konnte, eine Arterie getroffen zu haben [4]). Den ansässigen europäischen Ärzten war dieses Verhalten des Blutes von Personen, welche den Übergang aus einem gemäßigten Klima zur Glut der Tropen durchmachen, wohl bekannt, ohne daß dadurch ihr Nachdenken besonders rege geworden, während Mayer, ausgehend von dieser scheinbar unbedeutenden Beobachtung, zu dem tiefsten Einblick in den Zusammenhang des Naturganzen gelangen sollte. Indem er die Farbenänderung, welche das Blut in den Kapillargefäßen erleidet, als den sichtbaren Reflex der in dem Körper vor sich

---

1) Siehe an späterer Stelle ds. Bds.

2) A. v. Humboldt, Kosmos, I. Band, S. VI.

3) Julius Robert Mayer wurde am 25. November 1814 zu Heilbronn geboren. Nach Beendigung seiner medizinischen Studien unternahm er eine Reise als Schiffsarzt, worauf er sich in seiner Vaterstadt niederließ. Als um 1850 das Prinzip von der Erhaltung der Kraft zur allgemeinen Annahme gelangte, wurde Mayers Verdienst um die Aufstellung desselben zunächst nicht anerkannt. Der Prioritätsstreit mit Joule versetzte ihn in eine tiefe Gemütsverstimmung. Erst gegen das Ende seines Lebens (er starb am 20. März des Jahres 1878) wurden Mayers Ansprüche gewürdigt. Sogar die Royal Society ehrte ihn durch Übersendung einer Medaille. Die neueste Ausgabe der Schriften samt einer ausführlichen Biographie Mayers verdanken wir J. J. Weyrauch. Stuttgart 1893.

4) R. Mayer, Die Mechanik der Wärme, Seite 105 (Weyrauchs Ausgabe).

gehenden Oxydation betrachtete[1]), kam Mayer auf den Gedanken, nach einer Größenbeziehung zwischen der Wärmeentwicklung und dem oxydierten Material zu suchen, um, wie er sich ausdrückt, die Bilanz zwischen Leistung und Verbrauch des Organismus zu ziehen. Da nun ein Tier die Fähigkeit besitzt, Wärme auf mechanische Art, z. B. durch Reibung, hervorzurufen, so erhebt sich die Frage, ob die gesamte, teils unmittelbar, teils auf mechanischem Wege, vom Organismus erzeugte Wärme dem im Körper vor sich gehenden Verbrennungseffekte quantitativ entspricht oder äquivalent ist. Wenn wir dies bejahen, so ist auch zu vermuten, daß die zur Gewinnung von Wärme auf mechanischem Wege aufgewandte Arbeit einem bestimmten Bruchteil dieses Effektes entsprechen wird. So wurde Mayer darauf geführt, aus der physiologischen Verbrennungstheorie auf eine unveränderliche Größenbeziehung zwischen Wärme und Arbeit zu schließen. Die physikalische Forschung war damals schon auf dem Punkte angelangt, daß Mayer, ohne selbst Versuche anzustellen, das Äquivalent zwischen Wärme und Arbeit aus den vorhandenen Daten zu berechnen vermochte. Aus der Wärmemenge, die verbraucht wird, wenn ein Gas mit Überwindung eines darauf lastenden Druckes, also unter Leistung von Arbeit, sich ausdehnt, ergab sich, daß diejenige Arbeit, welche zum Emporheben eines Gewichtes auf die Höhe von 365 Metern erforderlich ist, einer Wärmemenge entspricht, welche die Temperatur des gleichen Gewichtes Wasser von 0^{0} auf 1^{0} erhöhen würde[2]). Spätere Versuche haben für dieses mechanische Wärmeäquivalent den Wert von 425 Kilogrammmetern ergeben.

Die Abhandlung, in welcher Mayer seine Anschauungen entwickelte, hatte das unverdiente, aber aus den näheren Umständen begreifliche Mißgeschick, daß ihr die Spalten einer physikalischen Zeitschrift verschlossen blieben. Sie wurde im Jahre 1842 in Liebigs Annalen der Chemie abgedruckt und von den Fachgelehrten zunächst nicht weiter beachtet. Einige Jahre später erschien eine größere Arbeit Mayers, in der er das Prinzip von der Äquivalenz auf die Gesamtheit der Naturerscheinungen ausdehnte[3]) und der Wärme, der Elektrizität und den übrigen „Impon-

---

[1]) a. a. O., Seite 244.

[2]) Mayer, Mechanik der Wärme, Seite 55.

[3]) Mayer, Die organische Bewegung in ihrem Zusammenhange mit dem Stoffwechsel. 1845. Der 63. Abschnitt des I. Bandes enthält eine auszugsweise Wiedergabe dieser wichtigen Schrift Mayers.

derabilien" die Materialität unbedingt absprach. „Es gibt", sagt Mayer, „in der Natur eine gewisse Größe von immaterieller Beschaffenheit, welche bei allen zwischen den beobachteten Objekten stattfindenden Veränderungen ihren Wert behält, während ihre Erscheinungsform auf das vielseitigste wechselt." Diese Größe wurde zuerst als „Kraft" und das von Mayer in obigen Worten ausgesprochene Gesetz als das Prinzip von der Erhaltung der Kraft bezeichnet. In seiner heutigen Fassung lautet dieses Grundprinzip: Die Energie des Weltalls ist konstant.

Von einem anderen Gebiete ausgehend und seine Folgerungen auf eine große Zahl sinnreicher Versuche stützend, gelangte der Engländer Joule fast zur selben Zeit wie Robert Mayer zur Erkenntnis der Äquivalenz zwischen Wärme und Arbeit. Joule[1]) befaßte sich seit 1840 mit der Wärmewirkung des galvanischen Stromes[2]). Er fand diese dem Widerstande und dem Quadrat der Stromstärke proportional. Diese Untersuchung wurde auch auf Induktionsströme ausgedehnt, indem Joule die Erwärmung maß, welche eine gewisse Menge Wasser durch diese Ströme erfuhr. Da die letzteren durch die Drehung einer magnet-elektrischen Maschine, also unter Aufwand von mechanischer Arbeit, erzeugt wurden, so kam Joule auf den Gedanken, die Kraft, welche seinen Apparat in Bewegung setzte, zu bestimmen und mit der erzeugten Wärmemenge zu vergleichen. Seine Versuche ergaben, daß diejenige Wärme, welche die Temperatur von einem Pfund Wasser um 1° Fahrenheit erhöht, einer mechanischen Kraft entspricht, die ein Gewicht von 838 Pfund einen Fuß hoch zu heben vermag[3]). Dieses „mechanische Wärmeäquivalent" ermittelte Joule auch, indem er Wasser durch enge Röhren trieb. Im letzteren Falle wurde die Temperatur von einem Pfund Wasser schon bei einem Kraftaufwand von 770 Fußpfund[4]) um einen Grad erhöht. „Ich werde keine Zeit verlieren", sagt Joule am Schlusse seiner Abhandlung vom Jahre 1843, „diese Versuche zu wiederholen und auszudehnen, da ich überzeugt bin, daß die gewaltigen Naturkräfte durch des Schöpfers Werde! unzerstörbar sind und daß man

[1]) James Prescott Joule wurde am 24. Dezember 1818 zu Salford bei Manchester geboren und starb am 11. Oktober 1884.

[2]) On the production of heat by voltaic electricity. Proceedings of the Royal Society. 1840.

[3]) Das mechanische Wärmeäquivalent, gesammelte Abhandlungen von J. P. Joule, übersetzt von Spengel, 1872. Seite 37.

[4]) a. a. O., Seite 39.

immer, wo man eine mechanische Kraft aufwendet, ein genaues Äquivalent an Wärme erhält.“ Joule hat Wort gehalten und seine Experimente über diesen Gegenstand bis zum Jahre 1878 fortgesetzt. Seine letzten Bestimmungen ergaben für jenes Äquivalent einen Wert von 772,33 Fußpfund[1]).

Angeregt durch physiologische Untersuchungen, wie Robert Mayer, gelangte 1847 der damals 26 Jahre alte Helmholtz[2]) zu derselben großen Verallgemeinerung, welche jener zuerst ausgesprochen und Joule für einige Gebiete der Physik durch seine Versuche als gültig dargetan hatte. Helmholtz stellte sich die Aufgabe, das in die Mechanik schon von Huygens eingeführte Prinzip vom ausgeschlossenen Perpetuum mobile auf das gesamte Gebiet der Naturlehre zu übertragen. Obgleich sich die betreffende Arbeit von Helmholtz durch die mathematische Behandlung des Gegenstandes und ihre streng wissenschaftliche Sprache von den Werken Mayers vorteilhaft unterscheidet, fand sie gleichfalls in den Annalen der Physik keinen Platz, sondern gelangte als selbstständige Schrift zur Veröffentlichung[3]). Diese Zurückhaltung der Fachkreise, der auch Joule bei den englischen Physikern und Chemikern anfangs begegnete, darf man nicht ohne weiteres für unberechtigt halten. Zweifel und Bedenken sind in unserem Zeitalter nicht mehr im stande, das Licht einer neuen Wahrheit zu ersticken, sondern sie haben oft genug dazu beigetragen, daß es bald darauf in hellerem Glanze erstrahlen konnte. Auch der Umstand mußte für die neue Lehre sprechen, daß mehrere Forscher, die nicht miteinander in Verbindung standen und von den verschiedensten Gesichtspunkten ausgingen, schließlich zu ihr durchgedrungen waren. Unsere Ausführungen haben ferner gezeigt, daß

---

1) Beiblätter der Annalen der Physik. II, 1878, Seite 248.

2) Hermann v. Helmholtz wurde am 31. August 1821 als Sohn eines Gymnasiallehrers in Potsdam geboren. Nachdem er in Königsberg, Bonn und Heidelberg die Professur für Physiologie bekleidet hatte, wurde er im Jahre 1871 als Professor der Physik an die Universität Berlin berufen. Während der letzten Jahre seines Lebens leitete Helmholtz die Physikalisch-technische Reichsanstalt zu Charlottenburg, ein Institut, welches er unter der Mitwirkung von Werner Siemens ins Leben gerufen. Helmholtz starb am 8. September 1894.

3) H. Helmholtz, Über die Erhaltung der Kraft. Berlin 1847. Neu herausgegeben als 1. Band von Ostwalds Klassikern der exakten Wissenschaften. Leipzig, Verlag von Wilhelm Engelmann, 1889. Der 63. Abschnitt des I. Bandes dieses Grundrisses enthält eine gemeinverständliche Abhandlung von Helmholtz über die Bedeutung des Gesetzes von der Erhaltung der Energie für das Weltganze.

der Fortschritt der gesamten Naturwissenschaften auf eine Verknüpfung, wie sie in dem Prinzip von der Erhaltung der Energie zum Ausdruck kam, hindrängte und das Verdienst des Einzelnen demgegenüber nicht in solchem Maße in den Vordergrund gerückt erscheint, wie es bei manchen anderen großen Entdeckungen und Verallgemeinerungen der Fall ist.

Dem gewaltigen Aufschwung, welcher sich auf dem Gebiete der Naturwissenschaften seit dem Beginn des 19. Jahrhunderts vollzog, entsprach neben der wachsenden Einsicht in den Zusammenhang der Erscheinungen auch ein sich stetig vergrößernder Einfluß auf den gesamten Kulturzustand unseres Zeitalters. Auf die Frage: „Wozu nützt das?" lautete Faradays Antwort: „Bemüht Euch, es nutzbringend zu machen!" Den aus einer rein wissenschaftlichen Tätigkeit entspringenden Entdeckungen des Forschers sind die Erfindungen meist auf dem Fuße gefolgt. So entwickelte sich auf dem Boden der Naturlehre die moderne Technik. Wohlstand und Behaglichkeit erzeugend schuf sie wiederum die Mittel zur Förderung exakter Arbeiten und zur Verbreitung einer in immer tiefere Schichten der Bevölkerung eindringenden naturwissenschaftlichen Bildung.

In den Anfang dieser Periode fallen die ersten Schritte zur Begründung des chemischen Großgewerbes. Sein Haupterzeugnis, die Schwefelsäure, welche den technischen Ausgangspunkt für viele Industriezweige bildet, stellte man schon seit der Mitte des 18. Jahrhunderts durch den Bleikammerprozeß in größerem Maße her[1]). Ein zweckmäßiges Verfahren konnte jedoch erst Platz greifen, nachdem Gay-Lussac und Glover die nach ihnen benannten, zur Wiedergewinnung der niederen Oxyde dienenden Türme eingeführt hatten. Durch die fabrikmäßige Darstellung der Schwefelsäure wurde nun auch die lange angestrebte Gewinnung der Soda aus Kochsalz ermöglicht. Im Jahre 1791 gründete der Franzose Leblanc die erste Sodafabrik und rief damit eine neue Industrie ins Leben, welche besonders in England mächtig emporblühte und als wichtiges Nebenprodukt die Salzsäure lieferte. Die Verbilligung der zuletzt genannten Säure hatte wiederum zur Folge, daß sich das Gebiet der so wichtigen Chlorpräparate erschloß, von denen das Kaliumchlorat den Anlaß zur Erfindung des ersten chemischen Feuerzeuges bot. Letzteres bestand darin, daß Holzstücke, welche

---

[1]) Die Bleiklammern wurden 1746 von Roebuck eingeführt, vorher waren Glasgefäße im Gebrauch.

mit einem Gemisch von Kaliumchlorat und Schwefel versehen waren, durch Eintauchen in Schwefelsäure zur Entzündung gebracht wurden. Die Erforschung des Platins und seiner Verbindungen führte zu einer zweiten Zündvorrichtung, über welche Döbereiner mit folgenden Worten berichtet[1]: „Läßt man Wasserstoff durch ein Röhrchen auf staubförmiges Platin strömen, so daß der Strom des Gases sich vor der Berührung des Platins mit atmosphärischer Luft mischt, so wird der Staub fast augenblicklich glühend und bleibt dies, so lange der Wasserstoff ausströmt. Ist der Gasstrom stark, so wird der Wasserstoff entzündet. Dieser Versuch ist höchst überraschend und setzt jeden in Erstaunen. Ich habe diese Beobachtung bereits zur Darstellung eines neuen Feuerzeuges benutzt und werde sie noch zu weit wichtigeren Zwecken verwenden." So interessant diese Arten der Feuererzeugung selbst noch heute sind, sie vermochten doch den um 1830 aufkommenden Reibzündhölzchen gegenüber keinen Stand zu halten. Für die letzteren bildeten der nach dem Verfahren Scheeles dargestellte gewöhnliche Phosphor, sowie die ungiftige, von Schrötter bereitete rote Abart dieses Elementes den technischen Ausgangspunkt[2].

Neben der Schwefelsäure und der Salzsäure kam nach der Erschließung der Salpeterlager Südamerikas auch die Salpetersäure in immer größeren Mengen in den Handel. Das Studium dieser Säure in ihrem Verhalten zu den organischen Verbindungen hat dann um die Mitte unseres Jahrhunderts zur Erfindung der heutigen Explosivstoffe geführt. So stellte Schönbein, dessen Verdienst um die Erforschung des Ozons wir schon an anderer Stelle[3] gewürdigt haben, im Jahre 1846 die Schießbaumwolle her. Bald darauf erhielt man durch die Einwirkung der Salpetersäure auf das von Scheele aus den Fetten abgeschiedene Glycerin das furchtbarste Sprengmittel, das Nitroglycerin[4], dessen Gefährlichkeit später Nobel dadurch herabminderte, daß er es in Dynamit verwandelte.

---

1) Döbereiner, Über neu entdeckte Eigenschaften des Platins, Schweiggers Journal XXXVIII u. XXXIX.

2) Schrötters Abhandlung über den roten Phosphor erschien in Poggendorffs Annalen vom Jahre 1850. Sie ist im 65. Abschnitt des I. Bandes dieses Grundrisses mit einigen Kürzungen wiedergegeben.

3) Siehe Bd. I, Abschnitt 64.

4) Das Nitroglycerin wurde von Sombrero im Jahre 1847 bei der Einwirkung von Salpetersäure auf Glycerin entdeckt, indes erst 1862 von Nobel als Sprengstoff in die Technik eingeführt.

Als im Beginn des 19. Jahrhunderts der Dampf zu einem allgemeinen Betriebsmittel wurde, begann gleichfalls von England aus die Leuchtgasindustrie sich zu verbreiten. Diese Industrie erfüllte nicht nur ihre eigentliche Aufgabe, indem sie Wohnungen und Straßen mit einem Licht versah, das alle bisherigen Beleuchtungsarten übertraf, sondern sie rief auch durch die Fülle ihrer Nebenerzeugnisse neue Gewerbe, ja sogar einen neuen Zweig der chemischen Wissenschaft ins Leben. In dem wässerigen Produkt der Destillation der Steinkohle erhielt man nämlich eine Quelle für das Ammoniak und die Ammonsalze, während aus dem Studium der zahllosen in dem Teer befindlichen Stoffe die Chemie der aromatischen Verbindungen erwuchs. Das wichtigste Glied in der Reihe dieser Verbindungen war durch einen sonderbaren Zufall in die Hände Faradays gelangt, welcher sich im Beginn seiner wissenschaftlichen Laufbahn vorzugsweise mit chemischen Untersuchungen beschäftigte. Während der zwanziger Jahre gab es noch keine ausgedehnten Leitungen, sondern das Gas wurde den Abnehmern in verdichtetem Zustande in die Wohnung geliefert. Dabei stellte sich heraus, daß die Leuchtkraft schnell abnahm. Faraday, mit der Untersuchung dieser Erscheinung betraut, fand, daß sich aus dem Gase ein flüssiger Körper abscheidet, dessen Dampf die Leuchtkraft bedingt. Dieselbe aus Kohlenstoff und Wasserstoff bestehende Substanz wurde einige Jahre später aus der Benzoësäure dargestellt[1]) und als Benzol bezeichnet. Die Wichtigkeit dieser Verbindung und ihrer Abkömmlinge für die weitere Entwicklung der theoretischen und technischen Chemie kann hier nur angedeutet werden.

Ungeahnte Früchte sollten auch die Beobachtungen über die Wirkung des Lichtes auf die Silbersalze tragen. Daß die Haut durch eine Lösung von Silbernitrat geschwärzt wird, war schon im Mittelalter bekannt. Auch kannte man die Farbenänderung, welche das Chlorsilber erfährt[2]), schon seit langer Zeit. Daß man es hier mit einer Wirkung des Lichtes zu tun habe, wurde im Beginn des 18. Jahrhunderts bemerkt[3]). Später folgte die Beobachtung, daß sich diese chemische Wirkung des Lichtes nicht

[1]) Die Darstellung des Benzols durch Erhitzen der Benzoësäure mit Ätzkalk lehrte Mitscherlich kennen: $C_6H_5 . COOH + CaO = CaCO_3 + C_6H_6$. Der Name Benzol rührt von Liebig her.

[2]) Die Schwärzung der Haut durch Silberlösung kannte schon Albertus Magnus. Boyle erwähnt die Farbenänderung, welche das Chlorsilber erleidet (1663), schrieb sie aber dem Einfluß der Luft zu.

[3]) 1727 durch J. H. Schulze, Professor in Halle.

gleichmäßig über alle Teile des Spektrums verbreitet und daß sie sich sogar über das Violett hinaus erstreckt [1]).

Die ersten Versuche, dieses Verhalten zur Herstellung von Bildern zu verwenden, scheiterten an dem Umstande, daß man das unveränderte Silbersalz nicht zu entfernen vermochte. Erst die Jahrzehnte währenden vereinten Bemühungen der Franzosen Nièpce und Daguerre führten zu einem befriedigenden Ergebnis. Ihr Verfahren wurde Daguerrotypie genannt. Es bestand darin, daß man das Bild einer Camera obscura auf eine versilberte Platte wirken ließ, auf welcher man zuvor durch Joddämpfe eine Jodsilberschicht hervorgerufen hatte. Ein merkwürdiger Zufall führte zur Entdeckung einer Art von Entwicklungsverfahren. Kurze Zeit belichtete Platten, welche kaum Spuren einer Änderung zeigten, hatte man in einen Schrank gelegt, in welchem etwas Quecksilber verschüttet war. Als man diese Platten wieder herausnahm, war ein deutliches Bild desjenigen Gegenstandes zu erblicken, dessen Strahlen vorher auf die Platten gewirkt hatten. Erst nach langem Kopfzerbrechen erkannte man das Quecksilber, dessen Dämpfe sich an den belichteten Stellen niederschlagen, als die Ursache dieser alles in Erstaunen setzenden Erscheinung.

Das von Daguerre herrührende Verfahren wurde seit der Mitte des 19. Jahrhunderts durch die von dem Engländer Talbot erfundene Papierphotographie verdrängt. Über den Entwicklungsgang, welchen diese Erfindung genommen, ist der Leser durch den 53. Abschnitt des ersten Bandes unterrichtet worden. Die Bilder, deren Herstellung Talbot dort beschreibt, waren Negative, aus denen sich beliebig viele Positive gewinnen ließen. Die Photographie war dadurch zu einer vervielfältigenden Kunst geworden. So lange aber das Papier der einzige Träger der lichtempfindlichen Substanz war, blieb das Verfahren recht unvollkommen. Es wurde erst lebensfähig, als man zur Herstellung des Negativs Collodium verwandte (1851), welches infolge seiner Durchsichtigkeit die Gewinnung scharf begrenzter Positive ermöglichte.

Welche Bedeutung diese „kleine Erfindung", wie sie in dem im ersten Bande mitgeteilten Bericht genannt wird [2]), für die Kunst, die Wissenschaft und das praktische Leben gewinnen sollte, konnte Talbot freilich noch nicht ahnen. Wir werden diese Bedeutung erst ermessen können, wenn uns in den letzten

---

[1]) Siehe Seite 357 ds. Bds.

[2]) Siehe Bd. I, Seite 302.

Abschnitten die Aufgaben der allerneuesten Zeit und des Tages beschäftigen, zu deren Bewältigung die Photographie in ganz hervorragendem Maße beigetragen hat.

Schon in der geschilderten, bis etwa zur Mitte des 19. Jahrhunderts reichenden Periode zeigte es sich, daß auch die aus rein theoretischem Interesse unternommenen Forschungen auf dem Gebiete der Elektrizitätslehre eine Fülle von nützlichen Anwendungen im Gefolge haben sollten. So knüpft sich an den Namen Gauß die Erinnerung an den ersten elektromagnetischen Telegraphen. „Ich weiß nicht", schrieb dieser Forscher am 8. November des Jahres 1833 an den Astronomen Olbers, „ob ich Ihnen schon über eine großartige Vorrichtung berichtete, die wir[1]) gemacht haben: Es ist eine galvanische Kette zwischen der Sternwarte und dem physikalischen Kabinet über die Häuser hinweggezogen. Die ganze Drahtlänge wird etwa 8000 Fuß betragen. An den beiden Enden ist sie mit einem Multiplikator verbunden. Ich habe eine einfache Vorrichtung ausgedacht, wodurch ich augenblicklich den Weg des Stromes umkehren kann; ich nenne sie Kommutator. Wir haben sie bereits zu telegraphischen Versuchen gebraucht, welche mit ganzen Worten und einfachen Sätzen sehr gut gelungen sind. Ich bin überzeugt, daß auf diese Weise auf einen Schlag von Göttingen nach Hannover oder von Hannover nach Bremen telegraphiert werden kann."

Auch die chemische Wirkung der Elektrizität erfuhr um diese Zeit eine wichtige Anwendung, indem Jacobi[2]) ein Verfahren zur Herstellung von Abdrücken fand, das er mit dem Namen Galvanoplastik belegte. Jacobis Bemühungen, die Elektrizität als Triebkraft zu benutzen, hatten keinen dauernden Erfolg, doch gelang ihm die Herstellung eines elektromagnetischen Bootes, welches mit dreiviertel Pferdekraft auf der Newa fuhr.

Der großartige Aufschwung der Elektrotechnik knüpfte erst später an Faradays Erforschung der Magnetinduktion an und wird bei der Schilderung der neuesten Errungenschaften der chemisch-physikalischen Forschung zu berücksichtigen sein. Bevor wir uns indessen dieser Schilderung zuwenden, ist es unsere Aufgabe, den Gang zu verfolgen, welchen die übrigen, früher als

---

1) Gauß und Weber.

2) M. H. v. Jacobi, geboren den 21. September 1801 in Potsdam, gestorben den 10. März 1874 zu Petersburg. Siehe seine Schrift „Die Galvanoplastik." St. Petersburg 1840.

„beschreibend“ bezeichneten Naturwissenschaften unter dem überwiegenden Einfluß der „exakt“ verfahrenden Physik und Chemie genommen haben.

7. Die „beschreibenden“ Naturwissenschaften nehmen unter dem überwiegenden Einfluß der chemisch-physikalischen Forschung ihren heutigen Charakter an.

Im bisherigen Verfolg der geschichtlichen Entwicklung sind uns zwar manche Fälle begegnet, in denen hervorragende Forscher unter Anwendung von Hilfsmitteln der Physik und der Chemie einen tieferen Einblick in die Natur der Pflanzen und der Tiere zu gewinnen suchten. Es braucht hier nur an Hales und Borelli, sowie an Saussure und Liebig erinnert zu werden. Dennoch galt bis in die vierziger Jahre des 19. Jahrhunderts das Beschreiben und das Klassifizieren als die Hauptaufgabe der Zoologie und der Botanik. Seitdem haben diese Zweige unter dem gewaltigen Aufschwung, den die chemisch-physikalische Forschung genommen, ihren Charakter wesentlich geändert; sie sind zu induktiven Wissenschaften geworden, welche ihre wichtigsten Ergebnisse nicht mehr der Sammeltätigkeit der Museen, sondern den Arbeiten mit allen Mitteln der exakten Forschung ausgestatteter Laboratorien verdanken.

Als Beweis hierfür kann uns die schrittweis gewonnene Einsicht in das Wesen der Gärungs- und Fäulniserscheinungen dienen, in welchen Lavoisier und Gay-Lussac, ja selbst noch Liebig ein rein chemisches Problem erblickt hatten. Nachdem durch Lavoisier der Vorgang der alkoholischen Gärung als ein Zerfall des Zuckers in Alkohol und Kohlendioxyd erkannt worden war, beantwortete Gay-Lussac die Frage nach der Ursächlichkeit dieser Erscheinung, sowie der analogen Fäulnis dahin, daß der Sauerstoff der Erreger dieser Prozesse sei. Gay-Lussac stützte sich hierbei auf die bekannte Tatsache, daß nach dem Auskochen vollkommen abgeschlossene pflanzliche oder tierische Stoffe unverändert bleiben und erst nach erfolgtem Zutritt der Luft in Zersetzung übergehen. Seine Ansicht wurde dadurch widerlegt, daß der Deutsche Schwann zu einem ausgekochten Aufguß Luft hinzutreten ließ, welche er zuvor in einem Metallbade auf mehrere hundert Grad erhitzt hatte[1]. Obgleich bei diesem Versuche Sauer-

[1] Schwann in Poggendorffs Annalen. XLI. 1837. Seite 184: Vorläufige Mitteilung betreffend Versuche über die Weingärung und Fäulnis.

stoff zu dem Aufguß gelangte, ging der letztere dennoch weder in Gärung, noch in Fäulnis über. Gleichzeitig lenkten Schwann und andere Forscher die Aufmerksamkeit auf die organisierte Natur der Hefe, welche man fortan als eine in der Zuckerlösung vegetierende Pflanze ansah, durch deren Lebensprozeß der Zucker in Alkohol und Kohlendioxyd zerfällt. Nach einem zweiten Verfahren wurde die Luft, bevor sie zu dem Aufguß trat, der Einwirkung von chemischen Agentien, wie Kalilauge oder Schwefelsäure, ausgesetzt. Obgleich auch in diesem Falle die Gärung unterblieb, wurde von gegnerischer Seite doch der Einwurf erhoben, daß die zugeführte Luft durch eine derartige Behandlung vielleicht eine tiefgreifende Änderung erfahren haben könnte. Dieser Einwand wurde aber durch eine Versuchsanordnung[1]) beseitigt, bei welcher die zum Aufguß gelangende Luft anstatt des erhitzten Rohrstücks oder der Chemikalien nur einen Baumwollpfropfen passierte. Hierdurch gewann die schon von Schwann geäußerte Vermutung, daß es sich um organisierte, in der Luft schwebende Keime handeln könne, eine neue Stütze. Zur vollen Gewißheit wurde diese Ansicht erst durch Pasteurs Arbeiten erhoben, mit dessen wichtiger Abhandlung über die in der Atmosphäre vorhandenen organisierten Körperchen[2]) der Leser bereits durch den I. Band vertraut geworden ist. Pasteur filtrierte die Luft durch die in Äther-Alkohol lösliche Schießbaumwolle; er wies auf mikroskopischem und experimentellem Wege nach, daß diese poröse Substanz tatsächlich die Gärung verhindert, indem sie die in der Luft schwebenden organisierten Körper zurückhält, durch deren Aussaat dann diejenigen Erscheinungen hervorgerufen werden, welche sonst die gewöhnliche Luft veranlaßt. Daß die letztere um so weniger Keime enthält, je weiter man sich von dem Erdboden entfernt, zeigte Pasteur folgendermaßen: Er füllte eine größere Anzahl Glasballons mit einer Nährlösung, erhitzte sie zum Kochen und schmolz die Spitze zu. Mit diesen Ballons verfuhr er dann wie folgt: Am Fuße des Juragebirges, in der Höhe von 850 Metern über dem Meeresspiegel und in der Höhe von 2000 Metern wurde von je 20 Ballons die Spitze abgebrochen, so daß Luft eintrat.

---

1) Schröder und v. Dusch, Über Filtration der Luft in Beziehung auf Fäulnis und Gärung. Journal für praktische Chemie. 1854. t. LXI. pg. 485.

2) Bd. I, Seite 407, sowie Ostwalds Klassiker Nr. 39. Louis Pasteur wurde am 27. Dezember 1822 zu Dôle im Juradepartement geboren; er starb am 28. September 1895.

Sie wurden dann sofort wieder zugeschmolzen. Nach Verlauf einiger Tage zeigten sich von den Ballons, welche am Fuße des Gebirges geöffnet waren, 8 mit Organismen gefüllt, 12 unverändert.
In 850 m Höhe geöffnet, 5 mit Organismen gefüllt, 15 unverändert.
„ 2000 m „ „ 1 „ „ „ 19 „

Indem Pasteur seine Untersuchungen auf die Milchsäuregärung, die Essigbildung und die Fäulnis tierischer Stoffe ausdehnte, gelangte er unter Anwendung aller Hilfsmittel der exakten Forschung zu dem Ergebnis, daß alle diese bis dahin so dunklen Prozesse durch bestimmte niedere Organismen hervorgerufen werden, welche die zu ihrem Leben erforderliche Energie nicht durch Atmung, sondern durch Spaltung sehr zusammengesetzter Kohlenstoffverbindungen beziehen. Gleichzeitig haben diese Untersuchungen Pasteurs die Frage nach der Urzeugung im verneinenden Sinne entschieden, während man bis dahin diese Art der Entstehung für die niedrigsten Organismen immer wieder durch Versuche stützen zu können glaubte.

Waren die genannten Forscher vorzugsweise auf dem Wege des Experimentes zu einer Einsicht in die Lebensvorgänge der Spalt- und Hefepilze gelangt, so führten die Vervollkommnung der optischen Hilfsmittel und die Entwicklung der mikroskopischen Technik seit dem Jahre 1840 zu einem von den hervorragendsten Erfolgen gekrönten Studium der übrigen Kryptogamen. Ungers Beobachtungen an Schwärmsporen wurden im 58. Abschnitt des I. Bandes mitgeteilt. Die Vereinigung zweier Plasmamassen der Gattung Spirogyra zu einer Dauerspore war schon länger bekannt und als geschlechtlicher Vorgang gedeutet, bei dem es jedoch an einer Differenzierung der sich verbindenden Körper fehle. Das schönste Beispiel einer solchen Differenzierung lehrte die Untersuchung der Algengattung Fucus[1]) kennen. Zahlreiche analoge Fälle schlossen sich an, so daß um das Jahr 1860 die Sexualität für viele Gruppen der Kryptogamen erwiesen war. Zu einem gänzlich unerwarteten und zunächst von seiten ausschließlich Systematik treibender Botaniker heftig befehdeten Ergebnis führte das genauere Studium der Flechten. Diese erwiesen sich nämlich nicht als einheitliche Organismen, sondern als Pilze, welche auf Algen leben, indem sie letztere vollkommen in ihr Geflecht

---

[1]) Thuret, Annal. des sc. natur. 1854. II. Seite 197. Thurets Abbildungen sind in zahlreiche Lehrbücher der Botanik übergegangen (siehe Sachs' Lehrbuch der Botanik, Leipzig 1874, Figur 185).

einschließen [1]). Da man die Flechten meist unter Bedingungen antrifft, welche dem Pilz oder der Alge allein ein Fortkommen nicht gewähren, ließ sich dieses Verhältnis nicht als Parasitismus betrachten; man belegte es daher mit dem Namen „Symbiose". Spätere Untersuchungen haben dargetan, daß eine solche Vergesellschaftung eine im Pflanzen- und Tierreich weit verbreitete Erscheinung ist.

Während bis zum Jahre 1840 die mikroskopischen Studien vorzugsweise die fertigen Zustände der Organismen ins Auge faßten, begann man seit jenem Zeitpunkt die Entwicklung sowohl der niederen als auch der höheren Pflanzen Zelle für Zelle zu verfolgen. Das wichtigste Ergebnis dieser entwicklungsgeschichtlichen Untersuchungen war die Entdeckung, daß die höheren Kryptogamen mit den Phanerogamen in einem engen verwandtschaftlichen Zusammenhange stehen und daß die Koniferen, welche Jussieu an die Spitze des Pflanzenreiches gesetzt hatte, eine vermittelnde Stellung zwischen jenen beiden Hauptgruppen einnehmen [2]).

In noch höherem Maße als bei dem Studium der bisher berührten Vorgänge war man bei der Untersuchung der Ernährung und Bewegung auf die chemisch-physikalische Grundlage angewiesen. Nachdem Saussure und Liebig die Notwendigkeit, neben dem Wasser und dem Kohlendioxyd der Pflanze gewisse Nährstoffe zuzuführen, erkannt hatten, galt es in erster Linie, die Art der Aufnahme, sowie die physiologische Bedeutung jener Stoffe nachzuweisen. So entdeckte man z. B. die wichtige Rolle, welche die Diosmose für den ersteren Vorgang spielt [3]), sowie daß das Eisen an der Bildung des Chlorophyllfarbstoffes beteiligt ist. Den Einfluß der Schwerkraft und des Lichtes auf die Wachstumsbewegungen hatte man schon im Beginn des 19. Jahrhunderts zu erforschen begonnen [4]). Jetzt wandte man sich auch den Reizbewegungen zu. Bahnbrechend war in dieser Hinsicht die von dem deutschen Physiologen Brücke herrührende Arbeit über die Bewegung

---

1) Schwendener in Nägelis Beiträgen zur wissenschaftl. Bot. Heft 2—3. 1860—1868.

2) Wilhelm Hofmeister, Vergleichende Untersuchungen der Keimung, Entfaltung und Fruchtbildung höherer Kryptogamen und der Samenbildung der Koniferen. Leipzig 1851.

3) Dutrochet, Mémoires pour servir à l'histoire anatomique et physiologique des végétaux et des animaux. 1837.

4) Sechs pflanzenphysiologische Abhandlungen von Th. A. Knight (1803 bis 1812). Als Nr. 62 von Ostwalds Klassikern der exakten Wissenschaften herausgegeben von H. Ambronn. Leipzig, Verlag von Wilhelm Engelmann. 1895.

der Mimosenblätter[1]), indem hier ein scheinbar willkürlicher Vorgang auf seine mechanischen Bedingungen zurückgeführt wurde. Die verwickelten mit ernährungsphysiologischen Prozessen verknüpften Reizbewegungen der insektenfressenden Pflanzen wurden dann durch Darwin aufgehellt[2]).

Der große Aufschwung, den die Mikroskopie seit der Herstellung achromatischer Linsensysteme erfuhr, kam in gleicher Weise der Zoologie wie der Botanik zu gute. Auch auf jenem Gebiete wurde man jetzt in den Stand gesetzt, erfolgreich in den Bau und in die Physiologie der niedersten Lebewesen einzudringen. Während Ehrenberg[3]) die Infusorien, um deren systematische Bearbeitung er sich das größte Verdienst erwarb, als hochorganisierte Wesen ansah und andere Forscher die Foraminiferen ihrer eigentümlichen Schalenbildung wegen mit den viel höher stehenden Kopffüßlern vereinigten, unter denen bekanntlich der Nautilus und die fossilen Ammoniten gleichfalls aus Kammern bestehende Schalen besitzen, trat seit 1840 etwa in der Auffassung dieser Geschöpfe eine bemerkenswerte Wandlung ein, die zur Aufstellung des Typus der Protozoen führte. Die Infusorien und die Foraminiferen wurden nämlich gleich einigen verwandten Gruppen als einzellige Lebewesen erkannt, deren Körper innerhalb der verschieden gestalteten Wandung nur aus einer gleichartigen, sich bewegenden Masse, dem Protoplasma, besteht.

Cuviers Kreis der Radiärtiere, dem man bisher die Infusorien zugewiesen hatte, mußte aber noch eine weitere Aufteilung über sich ergehen lassen, indem der deutsche Zoologe Leuckart die erste und die dritte Klasse dieses Kreises, die Stachelhäuter und die Pflanzentiere, trotz ihres strahligen Körperbaues als gesonderte Typen hinstellte. Für die Stachelhäuter wurde der Besitz eines Gefäßsystems und das Vorhandensein eines Darmes als charakteristisch erkannt, während man bemerkte, daß bei den Pflanzentieren oder Cölenteraten eine so weitgehende Trennung der Verrichtungen noch nicht stattgefunden hat, sondern ein einziger Hohlraum, der aus diesem Grunde als Gastrovaskularraum bezeichnet wurde, die Verdauung und den Kreislauf vermittelt.

---

1) Ernst Brücke im Archiv für Anatomie und Physiologie von J. Müller. 1848. Seite 434. Neuerdings herausgegeben als II. Abhandlung des 95. Bandes von Ostwalds Klassikern der exakten Wissenschaften. Wilhelm Engelmann. Leipzig 1898.

2) Charles Darwin, Insektenfressende Pflanzen. Aus dem Englischen übersetzt von J. V. Carus. Stuttgart 1876.

3) Ehrenberg, Die Infusionstierchen als vollkommene Organismen. 1838.

Wie auf botanischem, so wurde auch auf zoologischem Gebiete die Einsicht in die Verwandtschaft der niederen Formen in hohem Grade durch den Ausbau der Entwicklungsgeschichte gefördert. Die Befunde der letzteren wiesen z. B. den bis in die jüngste Zeit bald zu den Pflanzen gerechneten, bald als Tierstöcke betrachteten Schwämmen ihren Platz neben den Polypen und den Quallen innerhalb des Kreises der Pflanzentiere an. Der Entwicklungsgeschichte gebührt aber nicht nur das Verdienst, daß sie eine festere Begründung des natürlichen Systems der Pflanzen und der Tiere ermöglichte, sie hat den Blick auch über das Werden des Einzelwesens hinaus auf die Frage nach der Entstehung der Art, ja des gesamten so mannigfach gegliederten Systemes selbst gelenkt.

Eine Antwort auf diese Frage hatte schon Lamarck zu geben versucht, indem er mit dem Begriff von der Konstanz der Arten brach und deren allmähliche Entstehung aus früheren Formen annahm, dergestalt, daß alle Organismen in höherem oder geringerem Grade blutsverwandt seien. Wir haben in einem der früheren Abschnitte erfahren, weshalb sich diese als Descendenztheorie bezeichnete Lehre zunächst nicht Bahn zu brechen vermochte. Einmal fehlte es ihr anfangs an einer stichhaltigen wissenschaftlichen Begründung, zum anderen waren aber auch die einzelnen naturgeschichtlichen Wissenszweige noch nicht auf dem Standpunkte angelangt, daß sie dieser Theorie bedurft hätten. Letzterer Fall trat aber gegen die Mitte des 19. Jahrhunderts ein. Die Geologie hatte das Dogma von den wiederholten Neuschöpfungen verlassen, die Ergebnisse der Paläontologie wiesen auf eine allmähliche Annäherung der untergegangenen Formenkreise an unsere heutige Lebewelt hin; auch die morphologischen Befunde ließen sich mit dem Dogma von der Konstanz der Arten nicht länger vereinigen. Trotzdem war die Herrschaft dieses Dogmas eine solch allgemeine, daß sich nur vereinzelte Stimmen dagegen erhoben, welche außerdem verhallen mußten, solange man nichts Besseres an die Stelle der älteren Anschauungen zu setzen hatte. Die Frage nach der Entstehung der Arten blieb das „Mysterium der Mysterien“, bis im Jahre 1859 der englische Naturforscher Charles Darwin Licht über sie verbreitete.

Darwin ging von der bekannten Tatsache aus, daß der Mensch durch bewußte Zuchtwahl innerhalb geschichtlicher Zeiten aus den von ihm in Zucht genommenen Tier- und Pflanzenarten Varietäten erzeugt hat, welche von der Stammart in solchem Grade abweichen, daß man in der Unkenntnis des wahren Sachverhaltes

diese Varietäten als neue Arten betrachten würde. Seine Untersuchungen richteten sich sodann auf die Frage, ob in der Natur Umstände wirken, welche in der gleichen Weise wie die vom Menschen ausgeübte Zuchtwahl tätig sind. Diese Frage ist durch Darwin in seinem Werke über die Entstehung der Arten[1]) bejaht worden. Da die Einzelwesen einer Art nicht vollkommen übereinstimmen, sondern kleine Abweichungen zeigen, welche der Züchter, sich auf das Gesetz der Erblichkeit stützend, in gewünschter Richtung zu steigern vermag, so ist auch für den natürlichen Verlauf des Naturgeschehens die Möglichkeit einer derartigen Steigerung gegeben, wenn in demselben Verhältnisse obwalten, welche die Rolle des Züchters zu übernehmen vermögen. Derartige Verhältnisse bestehen nach Darwin in der raschen Vermehrung aller Lebewesen und in dem hierdurch hervorgerufenen Kampfe um die Existenzbedingungen. Aus diesem Kampfe werden diejenigen Einzelwesen als die Überlebenden hervorgehen, welche hinsichtlich der Anpassung an jene Bedingungen durch irgend welche Vorzüge vor ihren Mitbewerbern ausgezeichnet sind. Indem ferner die Überlebenden allein zur Fortpflanzung gelangen, übertragen sie jene Vorzüge auf ihre Nachkommen, so daß im Lauf der Generationen ebensolche Steigerungen stattfinden werden, wie sie der Mensch durch künstliche Zuchtwahl bewirkt. Auch ist in hohem Grade wahrscheinlich, daß unter Zuhilfenahme geologischer Zeiträume Änderungen erfolgen, welche über den Gattungscharakter hinausgehen.

Durch diese Lehre Darwins ist es in vielen Fällen möglich geworden, das, was früher als zweckmäßige, zielbewußte Einrichtung erschien, wie die Beziehungen der Blumen und Insekten, aus natürlich wirkenden Ursachen zu erklären. Legt man die Descendenztheorie zu grunde, so erscheint ferner das System nicht mehr als eine Summe von Abstraktionen, sondern als der Ausdruck der natürlichen Verwandtschaft aller aus einem gemeinsamen Ursprung entstammenden Lebewesen. Auch auf dem Gebiete der Geologie erscheint jetzt manches Rätsel gelöst. Die fossilen Arten wurden nicht vernichtet und durch neue ersetzt, wie noch der hervorragendste zur Zeit Darwins lebende deutsche Geologe[2]) annahm, sondern sie sind als die Stammformen der jetzt die Erde bevölkernden Arten zu betrachten. Dementsprechend erkennen wir

1) Ch. Darwin, On the origin of species by means of natural selection. London 1859, übersetzt von H. G. Bronn. Stuttgart 1860.

2) Bronn.

trotz zahlloser Lücken der geologischen Urkunde, wenn wir die ausgestorbenen Lebewelten von der ältesten bis zur jüngsten Formation vergleichen, eine allmähliche Vervollkommnung und eine stete Annäherung an den Charakter unserer heutigen Fauna und Flora. Faßt man ferner nur die Lebewelt eines begrenzten Landstrichs ins Auge, so findet man häufig in den jüngsten Ablagerungen, welche den Boden dieses Landstrichs zusammensetzen, Überreste von Tierformen, welche von den jetzigen Bewohnern des betreffenden Landes nur wenig verschieden sind. Dieser Umstand war es auch, der Darwin zu seinen Betrachtungen anregte und sich ihm geradezu aufdrängte, als er sich im Jahre 1837 auf einer Weltumsegelung [1]) der naturgeschichtlichen und geologischen Erforschung des südamerikanischen Erdteils widmete, in dessen diluvialen und tertiären Bildungen zahlreiche Überreste riesiger Gürtel- und Faultiere vorkommen, also von Typen, welche noch heute der Fauna jenes Landes ihr charakteristisches Gepräge verleihen.

Trotz der großen Bedeutung, welche die von Darwin aufgedeckten Beziehungen für das Eindringen in den Zusammenhang biologischer Erscheinungsreihen besitzen, ist die Theorie noch weit davon entfernt, uns eine ursächliche Erklärung der Lebewelt zu geben. Es bleibt eine offene Frage, ob allein durch nützliche Anpassung aus dem mikroskopisch kleinen Protoplasmaklümpchen das aus Millionen wunderbar gefügter Zellen aufgebaute Wirbeltier oder gar der Mensch, welcher dichtet und denkt und sich die Naturkräfte zu Dienerinnen macht, hervorgehen konnte. Versetzen wir uns ferner zu den Anfängen des Lebens zurück! Die Erde empfängt oder erzeugt die ersten, einfachsten Organismen, alle entwickelten Wesen fehlen noch. Wie konnte bei dieser Einförmigkeit das Spiel der natürlichen Auslese, das wir heute bei der ungeheuren Kompliziertheit der organischen Welt vor uns sehen, beginnen? Man darf ferner nicht vergessen, daß wir der Frage nach der ersten Entstehung organisierten Stoffes, sowie der Natur seiner wunderbaren Eigenschaften auch heute noch ratlos gegenüberstehen. Die Biologie hat also nicht etwa ihre Aufgabe schon im wesentlichen gelöst, sondern sie neuerdings erst voll erkannt. Sie hält fest an der Lehre von der allmählichen Entwicklung der Lebewelt und sucht die Entstehung des Einzelwesens und der Art, sowie das Wesen der organisierten Substanz aus

[1]) Siehe Bd. I, Seite 332.

chemischen und physikalischen Kräften zu erklären, unbekümmert darum, ob dieses Ziel erreicht werden oder stets ein ideales bleiben wird. Dementsprechend beschränkt sich auch die neuere Physiologie nicht auf das Studium des menschlichen Körpers, sondern dehnt ihre Untersuchungen zum Zwecke des Vergleichs auf sämtliche, insbesondere auf die niederen Tiergruppen aus, innerhalb deren sich die Lebenserscheinungen in ihrem einfachsten Verlaufe abspielen. Hier wird sich ein Begreifen aus mechanischen Gesetzen am ehesten verwirklichen lassen, während ein solches der höheren Stufe gegenüber zunächst als bloßes Ideal betrachtet werden kann. Wie die Physiologie, so beginnt neuerdings unter dem wachsenden Einfluß der chemisch-physikalischen Forschung auch die Lehre von der Entwicklung der Tiere und Pflanzen ihren Charakter zu ändern, indem sie sich aus einer vorzugsweise beschreibenden Wissenschaft zur Entwicklungsmechanik [1]) umbildet.

In noch höherem Grade als die bisher betrachteten Wissenschaften sind die Geologie und die Mineralogie heute als angewandte Physik und Chemie zu betrachten. Der geologische Versuch als das wichtigste Mittel, um zu einem Aufschluß über die Natur und die Entstehung der Gesteine zu gelangen, wurde schon während einer älteren Zeit von dem Engländer James Hall (1761—1832) begründet. Dieser lieferte z. B. den Nachweis, daß geschmolzene Gesteinsmassen glasartig oder krystallinisch erstarren, je nachdem sie rasch oder langsam abgekühlt werden. Als Hall Kreide in einem abgeschlossenen Raume erhitzte, so daß die Kohlensäure nicht entweichen konnte, erhielt er ein krystallinisches, dem Marmor ähnliches Erstarrungsprodukt. Durch derartige Versuche ist es in neuerer Zeit insbesondere einer französischen Geologenschule [2]) gelungen, uns einen Einblick in die Werkstatt der Natur zu eröffnen. So erkannte man vor allem, welch große Rolle der überhitzte und mit Mineralsubstanzen beladene Wasserdampf der Laven bei der Gesteinsbildung und Gesteinsumwandlung spielt. Seit dem Jahre 1860 hat sich ferner mit Zuhilfenahme des Mikroskops der innere Aufbau der Gesteine erschließen und dadurch manche Frage über das Wirken der gesteinsbildenden Vorgänge beantworten lassen. Einige Jahrzehnte früher hatte Ehrenberg durch seine mikroskopischen Untersuchungen die Tätigkeit der kleinsten

1) Archiv für Entwicklungsmechanik der Organismen. Herausgegeben von W. Roux, seit 1894.

2) Deren Hauptvertreter G. A. Daubrée ist.

Lebewesen als ein wichtiges geologisches Agens erkannt. Ausgehend von der Beobachtung, daß das Franzensbader Bergmehl aus den Kieselskeletten untergegangener Diatomeen besteht, fand Ehrenberg, daß die Kiesel- und Kalkabscheidungen kleinster pflanzlicher und tierischer Organismen in ungeahnter Ausdehnung an der Zusammensetzung sedimentärer Bildungen teilnehmen. Das Ergebnis dieser Untersuchungen faßte er in seiner „Mikrogeologie“[1]) zusammen, deren prächtig ausgeführte Tafeln ein klares Bild von dem „Erden und Felsen schaffenden Wirken des kleinsten Lebens“ geben.

Um die Mitte des 19. Jahrhunderts nahm in Deutschland[2]) die Geologie einen solch überwiegend chemisch-physikalischen Charakter an, daß sie Gefahr lief, in einseitiger Übertreibung dem architektonischen Aufbau der Erdkruste nicht mehr die gebührende Beachtung zu schenken. Erst in neuester Zeit gelang es insbesondere den Bemühungen des amerikanischen Geologen Dana, sowie des Alpenforschers Süß[3]), diesen Aufbau als das Ergebnis eines durch die Zusammenziehung des Erdinnern hervorgerufenen Stauungs- und Faltungsprozesses zu erklären, welcher ununterbrochen vor sich geht und nicht nur die säkulären Schwankungen großer Teile der Erdrinde, sondern auch die Entstehung der Gebirge, sowie diejenige Klasse von Erdbeben hervorruft, welche man als tektonische bezeichnet.

Auch in dem Transport der Eismassen lernte die neueste Zeit ein wichtiges geologisches Mittel kennen. Schon im Jahre 1827 hatte ein deutscher Forscher[4]) nachgewiesen, daß die Findlingsblöcke des norddeutschen Tieflandes skandinavischen Ursprungs seien. Ein Jahrzehnt später wurden ähnliche Bildungen der Alpen auf die Bewegung von Gletschern zurückgeführt[5]). So gelangte man zur Annahme von Kälteperioden, in denen die Vergletscherung der mittel- und nordeuropäischen Landschaft das heutige Maß weit überschritten haben muß. Nachdem man dann die Eisbedeckung Grönlands kennen gelernt, machte der schwedische Geologe Torell auf die zahlreichen Spuren einer ähnlichen Inlandvereisung des nördlichen Deutschlands aufmerksam und beseitigte dadurch die Annahme Lyells, nach welcher Eisberge

1) Im Jahre 1854 erschienen.
2) Durch G. Bischof und seine Schule.
3) Süß: „Das Antlitz der Erde“. „Die Entstehung der Alpen.“
4) Hausmann, 1827.
5) Charpentier 1837.

jenen Transport skandinavischer Felsmassen bis zum Rande des deutschen Mittelgebirges bewerkstelligt haben sollten.

Nicht solch umgestaltende Änderungen wie die Geologie hat die Mineralogie in der neueren Zeit erfahren, da letztere Wissenschaft schon im Verlauf der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts ganz auf die exakte Grundlage gestellt wurde, so daß schon Berzelius sie als die Chemie der natürlich vorkommenden Verbindungen bezeichnen konnte. Neben einem Ausbau im einzelnen, der den Inhalt der Mineralogie vervielfältigte, blieb der neuesten Zeit vor allem die Entdeckung einiger wichtigen Beziehungen zwischen den physikalischen und den morphologischen Eigenschaften, sowie die tiefere Begründung der letzteren vorbehalten. Zur Erkenntnis des Zusammenhanges zwischen der Form und dem optischen Verhalten der Krystalle war man schon während der ersten Jahrzehnte des 19. Jahrhunderts durch die Arbeiten eines Fresnel und Brewster gelangt. Ganz analoge Beziehungen wurden nun hinsichtlich des thermischen und des elektrischen Verhaltens entdeckt. Auch hier ergab sich, daß die regulären Substanzen nach allen Richtungen des Raumes das gleiche Verhalten besitzen, während die Krystalle des tetragonalen und des hexagonalen Systems Verschiedenheiten nach zwei, diejenigen der übrigen Systeme nach drei Richtungen aufweisen; und zwar gilt dies sowohl hinsichtlich des Ausdehnungskoeffizienten wie der Wärmeleitung. Erhitzt man z. B. eine Kugel von regulärem Steinsalz, so wird sie ihr Volumen vergrößern, ohne ihre Form zu ändern, während eine aus dem hexagonalen Kalkspat hergestellte Kugel zu einem Rotationsellipsoid und endlich derselbe aus dem monoklinen Feldspat hergestellte Körper zu einem dreiachsigen Ellipsoid wird.

Für die schon von Aepinus erforschte Pyroëlektrizität[1]) hat sich neuerdings gleichfalls eine merkwürdige Beziehung ergeben, indem es sich herausstellte, daß die pyroëlektrischen Krystalle hemimorph, d. h. an den entgegengesetzten Enden der Hauptachse, welche zu elektrischen Polen werden, durch Flächen verschiedener Formen begrenzt sind.

Beziehungen zwischen der chemischen Zusammensetzung und der Gestalt der Mineralien hatte schon Mitscherlich, der Entdecker der Isomorphie, gefunden. Aus der näheren Untersuchung der isomorphen Substanzen ging ferner hervor, daß es sich, vom regulären Systeme abgesehen, nicht um eine vollkommene

1) Siehe Bd. I, Abschnitt 33.

Übereinstimmung der Formen, sondern nur um eine sehr große Ähnlichkeit handelt. Als entscheidendes Merkmal für die Isomorphie erkannte man das Vermögen der betreffenden Stoffe, sogenannte isomorphe Mischungen einzugehen, d. h. in homogenen Krystallen zusammen zu krystallisieren.

Die Frage nach der Entstehung der Mineralien mußte, wie die Frage nach der Bildung der Gesteine, gleichfalls auf dem Wege des Versuches gelöst werden, was zur Entdeckung zahlreicher künstlicher Nachbildungen führte[1]). Auch hier hat man der hauptsächlich durch Daubrée vertretenen Gruppe französischer Forscher die hervorragendsten Erfolge zu verdanken.

8. Wichtige Errungenschaften der chemisch-physikalischen Forschung seit der Entdeckung des Energieprinzips.

Die exakten Wissenschaften waren durch eine gewaltige Summe experimenteller und darauf gegründeter theoretischer Arbeit im Verlaufe der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts zu einem wohlgegliederten und wenigstens in seinen Fundamenten festgefügten Lehrgebäude gelangt. Der Ausbau im einzelnen wurde dann während der letzten Jahrzehnte in solchem Maße gefördert, daß an dieser Stelle nur einige der wichtigsten neueren Errungenschaften, welche die Keime weiteren Fortschritts in sich bergen, berührt werden können.

In der Chemie erhob sich insbesondere auf Grund derjenigen Vorstellungen, welche sich seit Gay-Lussac und Avogadro über die Natur der gasförmigen Verbindungen entwickelt hatten, die heute herrschende Valenztheorie, nach welcher den Atomen jedes Elementes eine oder mehrere zahlenmäßig bestimmte Sättigungsstufen zukommen. So wurden die Elemente Stickstoff, Phosphor und Arsen als drei- und fünfwertig aufgefaßt, da sich ein Atom dieser Elemente je nach den Umständen mit drei oder fünf Atomen des als einwertig bezeichneten Chlors verbindet. Von besonderer Wichtigkeit für die weitere Entwicklung der organischen Chemie war die Lehre Kekulés von der Vierwertigkeit des Kohlenstoffs und der Atomverkettung, nach welcher die Kohlenstoffatome durch

[1]) C. W. C. Fuchs, Die künstlich dargestellten Mineralien. Gekrönte Preisschrift. Haarlem 1872.

eine bestimmte Anzahl ihrer vier Valenzen sich gegenseitig binden[1]). Im Jahre 1865 dehnte Kekulé die von ihm geschaffene Strukturtheorie, der er selbst ursprünglich nur den Wert einer Zweckmäßigkeitshypothese beilegte, auf die aromatischen Verbindungen aus, für deren Grundsubstanz, das Benzol, er eine ringförmige Verkettung von sechs Kohlenstoffatomen annahm. Durch diese so berühmt gewordene Benzoltheorie[2]) wurde nicht nur eine klare Übersicht über das stetig anschwellende Gebiet der aus dem Teer gewonnenen Substanzen, sondern auch eine Erklärung und Vorhersage der hier vorkommenden Isomeriefälle ermöglicht.

Das Studium der Isomerieen war es auch, welches die Strukturchemie eine Vorstellung über die Anordnung der Atome im Raume

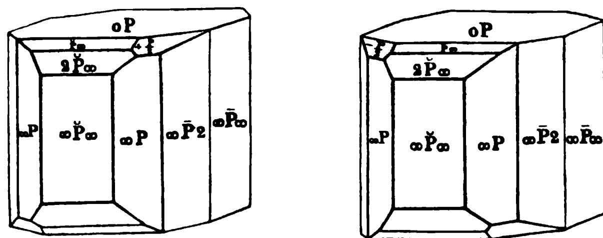


Abb. 84. Krystalle des rechts-weinsauren und des linksweinsauren Natrium-Ammoniums. Ersteres zeigt die rechts-hemiedrische Fläche $+\frac{P}{2}$, letzteres die links-hemiedrische, ein Spiegelbild von $+\frac{P}{2}$ darstellende Fläche $-\frac{P}{2}$.

gewinnen ließ. Pasteur hatte nachgewiesen, daß die Traubensäure, die sich dem polarisierten Lichte gegenüber inaktiv verhält, in zwei Abarten zerlegt werden kann, welche die Polarisationsebene des Lichtes im entgegengesetzten Sinne drehen[3]). Pasteur fand, daß die Salze dieser links- und rechtsdrehenden Säuren zwar isomorph sind, aber Krystalle bilden, welche sich hinsichtlich der Lage gewisser Flächen wie Spiegelbild und Gegenstand verhalten, also nicht zur Deckung gebracht werden können. Durch die sorgfältige Trennung dieser rechts- und links-hemiedrischen Krystalle (siehe Abb. 84) war Pasteur zur Entdeckung der zusammengesetzten Natur der Traubensäure geführt worden. Die einen drehten nämlich die Polarisationsebene rechts, die anderen dagegen links, während ihre Vereinigung zu einer Lösung wieder die

1) Liebigs Annalen der Chemie, 106, 154.
2) Liebigs Annalen der Chemie, 137, 129 ff.
3) Comptes rendus des séances de l'académie des sciences, 29, 297; 31, 480.

optisch inaktive Substanz ergab. Da die beiden Abarten die gleiche chemische Struktur aufwiesen, so stand man vor einem Rätsel, welches erst im Jahre 1875 durch den Holländer van't Hoff[1]) gelöst wurde. Denkt man sich mit van't Hoff die vier Affinitäten des Kohlenstoffatoms nach den Ecken eines Tetraeders geordnet, so ergeben sich für den Fall, daß sämtliche Affinitäten durch vier verschiedene Atome oder Atomgruppen gesättigt sind, zwei voneinander abweichende Kombinationen, welche nicht zur Deckung gebracht werden können (siehe Abb. 85), sondern sich, gleich jenen Krystallen der links- und rechtsdrehenden Weinsäure, wie Bild und Spiegelbild verhalten. Letztere Verbindungen wurden jetzt als stereoisomer bezeichnet und van't Hoffs Betrachtungsweise auf zahlreiche analoge Fälle ausgedehnt.

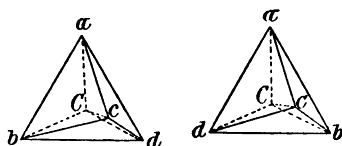


Abb. 85. Die Konstitution der stereoisomeren Verbindungen.

Während es sich in dem durch van't Hoff[2]) erschlossenen Gebiete um eine Ausdehnung der geometrischen Betrachtungsweise auf die Verkettung der Atome handelte, führten die mit immer größerer Schärfe ausgeführten Bestimmungen der Atomgewichte zu Versuchen, zwischen den erhaltenen Zahlen arithmetische Beziehungen zu finden. Wenn wir von der verfehlten Hypothese Prouts absehen, so begegnet uns der erste Versuch dieser Art im Jahre 1829 bei dem Deutschen Döbereiner. Letzterer wies darauf hin, daß das Atomgewicht des Broms das arithmetische Mittel der Atomgewichte von Chlor und Jod sei[3]), und suchte auch die übrigen Elemente zu solchen Gruppen, die er als Triaden bezeichnete, zusammenzufassen. Lothar Meyer und Mendelejeff entdeckten dann, daß eine viel allgemeinere Gesetzmäßigkeit hervortritt, wenn man sämtliche Elemente nach wachsendem Atomgewicht anordnet. Es kehren dann nämlich ähnliche, zu einer natürlichen Gruppe gehörende Grundstoffe in gleichen Abständen wieder, eine Erkenntnis, welche beide Forscher dahin aussprachen,

---

[1]) Bulletin de la société chimique de Paris 23,295. Vergl. auch van't Hoffs Abhandlung: Dix années dans l'histoire d'une théorie. 1887.

[2]) Und gleichzeitig durch Lebel. Bulletin de la société chimique 23,337.

[3]) J. W. Döbereiner, Versuch zu einer Gruppierung der elementaren Stoffe nach ihrer Analogie. Poggendorffs Annalen der Physik und Chemie. 1829, 15, Seite 301. Siehe auch Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften Nr. 66. Leipzig, Verlag von Wilhelm Engelmann. 1895.

daß die Eigenschaften der Elemente und folglich auch der aus ihnen gebildeten Stoffe periodische Funktionen der Atomgewichte sind[1]). Damit war ein natürliches System gewonnen, dessen weiterer Ausbau eine der wichtigsten Aufgaben der neueren Chemie ist. Mendelejeff mußte in seinem System für bis dahin unentdeckte Glieder Lücken lassen, sagte aber die Eigenschaften dieser Glieder aus der ihnen zugeschriebenen Stellung bis ins einzelne voraus. Als er seine Tafel aufstellte, fehlten zwei Elemente zwischen Zink (Atomgewicht = 65) und Arsen (Atomgewicht = 75). Diese Lücke wurde dadurch ausgefüllt, daß man im Jahre 1875 das Gallium[2]) und zehn Jahre später das Germanium[3]) mit allen von Mendelejeff vorausgesagten Eigenschaften entdeckte. Nachstehende Tafel läßt erkennen, bis zu welchem Grade die Vorhersage des russischen Forschers sich bezüglich des Germaniums als zutreffend erwiesen hat.

Voraussagungen	Befunde
Atomgewicht 72	72,3
Spezif. Gewicht 5,5	5,47
Oxyd MO_2	GeO_2
Spezif. Gewicht des letzteren 4,7 . .	4,703
Chlorid MCl_4	$GeCl_4$
Siedepunkt des Chlorids unter 100°	86°
Fluorid MF_4	GeF_4
Äthylverbindung $M(C_2H_5)_4$	$Ge(C_2H_5)_4$
Siedepunkt der letzteren 160° . .	160°

In einigen Fällen sah sich Mendelejeff veranlaßt, kleine Änderungen in der Reihenfolge der Elemente im Gegensatz zu den damals als gültig anerkannten Atomgewichtsbestimmungen vorzunehmen. Spätere Nachprüfungen führten dann zu einer zweiten glänzenden Bestätigung des periodischen Gesetzes, indem sich die von Mendelejeff vorgenommenen Umstellungen als den wahren Werten entsprechend erwiesen.

---

1) Siehe Mendelejeffs berühmte Abhandlung über „Die periodische Gesetzmäßigkeit der chemischen Elemente.“ Annal. d. Chem. u. Pharm. 1871. VIII, Seite 133. Sie wurde mit Erläuterungen herausgegeben von Karl Seubert (Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften Nr. 68. Leipzig, 1895).

2) Es findet sich als Begleiter des Zinks in der Blende und wurde 1875 von Lecoq de Boisbaudran entdeckt.

3) Durch Cl. Winkler 1886 in einem Freiberger Silbererz (Argyrodit) entdeckt.

Welches ist nun die Ursache dieses merkwürdigen Gesetzes? Daß die Grundstoffe ihren Namen mit Recht tragen, wird sehr zweifelhaft. Es ist nicht jeder eine Welt für sich, wie man früher wohl glaubte, sondern sie bilden ein gesetzmäßig verknüpftes Ganze. Welch großartiges Problem bietet sich hier dem rastlos forschenden Geiste dar! Darf man doch hoffen, daß sich der Erkenntnis von der Einheit der Energie die Zurückführung der bunten Schar der Elemente auf einen einzigen Urstoff hinzugesellen wird.

Dem Grenzgebiete zwischen der Chemie und der Physik gehört die aus den Forschungen eines Fraunhofer[1]), Brewster, Bunsen und Kirchhoff hervorgegangene Spektralanalyse an. Als ihre eigentlichen Schöpfer sind die beiden zuletzt genannten

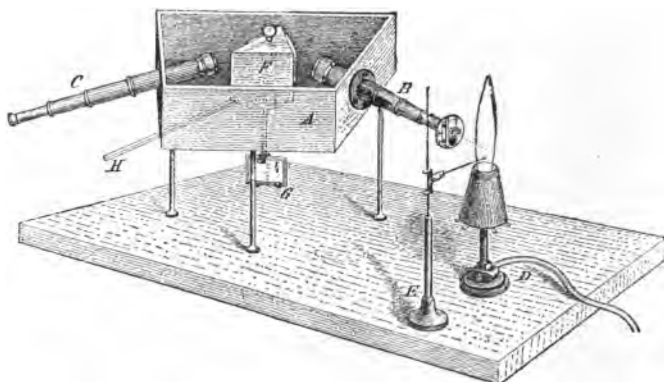


Abb. 86. Das erste von Kirchhoff und Bunsen konstruierte Spektroskop[2]).

Männer zu betrachten, mit deren Forschungen der Leser bereits durch den 67. Abschnitt des I. Bandes bekannt geworden ist.

Der Gedanke, die von Fraunhofer mit solch glücklichem Erfolge getriebenen Spektraluntersuchungen für die chemische Analyse zu verwerten, ging von Gustav Kirchhoff aus. Dieser machte als junger Physikprofessor seinem Amtsgenossen Bunsen, welcher die Flammenfärbungen verschiedener Salze zur Erkennung der Metalle benutzte, den Vorschlag, anstatt die Flammen durch

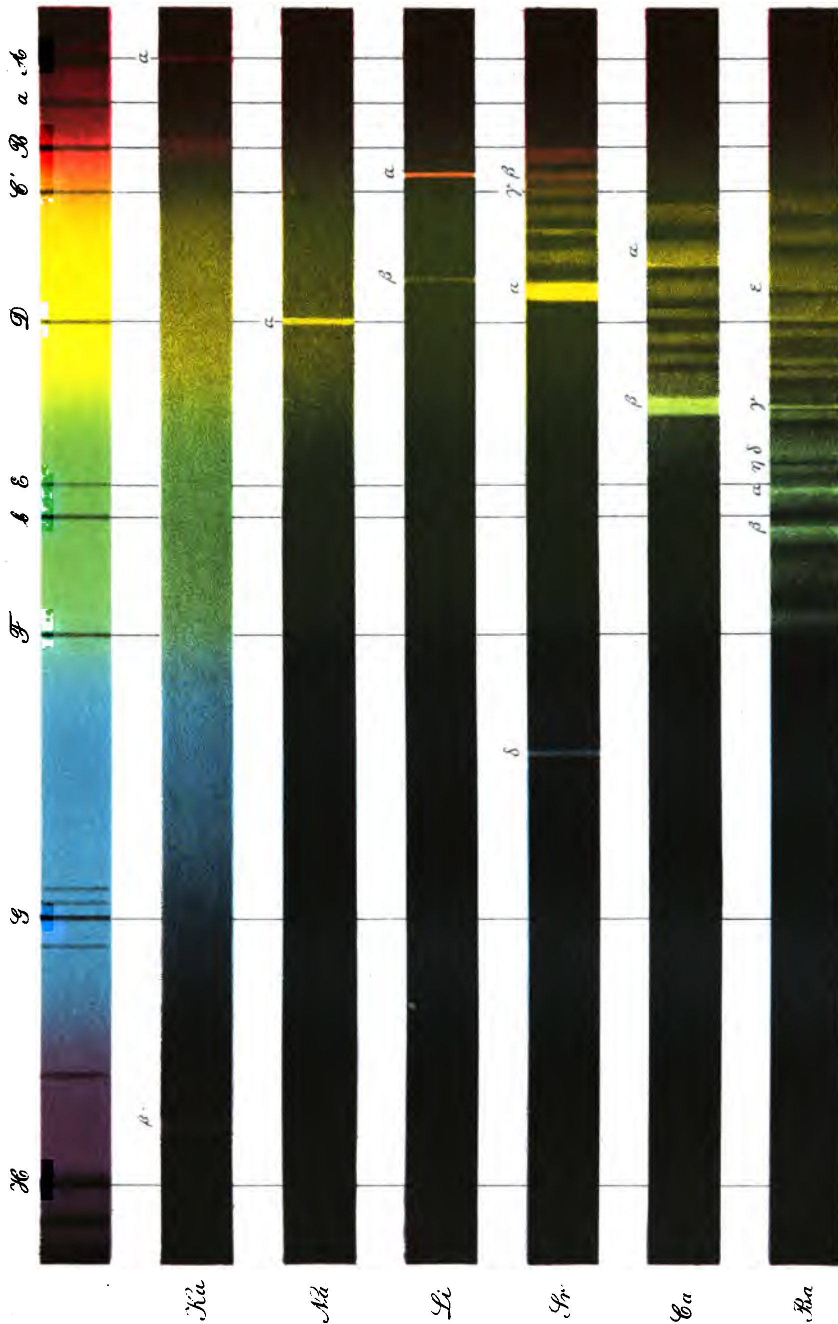
---

1) Siehe Seite 355 ds. Bds.

2) G. Kirchhoff und R. Bunsen, Chemische Analyse durch Spektralbeobachtungen. I. Abhandlung, Fig. 1 (Ostwalds Klassiker Nr. 72, Seite 5). Diese grundlegende Abhandlung der beiden Forscher erschien 1860 in Poggendorffs Annal. Bd. 110. Einen Auszug enthält der Abschnitt 67a des I. Bds. dieses Grundrisses.

farbige Gläser und Lösungen zu betrachten und so bestimmte, von der Natur der Metalle abhängige Erscheinungen auszumitteln, lieber ein Prisma anzuwenden. Beide Männer vereinigten sich zur Ausführung dieses Gedankens. Zunächst schufen sie einen für ihre Zwecke geeigneten Apparat, das Spektroskop, welches Abb. 86 in seiner ursprünglichen, ihm von den Erfindern verliehenen Form darstellt. In der nicht leuchtenden Flamme des von Bunsen erfundenen Brenners D wurde die zu untersuchende Substanz an einem Platindraht geschmolzen. Das so erzeugte Licht fiel durch den Spalt des Rohres B, wurde durch das Schwefelkohlenstoffprisma F zerlegt und gelangte durch das Fernrohr C ins Auge. Nachdem Bunsen und Kirchhoff durch Benutzung der verschiedensten Flammen, wie derjenigen von Schwefel, Alkohol, Leuchtgas, Wasserstoff u. s. w., den Nachweis erbracht hatten, daß die charakteristischen, den einzelnen Metallen entsprechenden Spektrallinien von den Temperaturunterschieden, sowie den in den Flammen vor sich gehenden Prozessen unabhängig sind, wandten sie sich der genaueren Feststellung der einzelnen Metallspektren zu, welche die nebenstehende Tafel nach der von beiden Forschern herrührenden Originaldarstellung wiedergibt.

Von besonderem Interesse erwies sich das Natriumspektrum, dessen gelbe Linie α mit der D-Linie des Sonnenspektrums zusammenfällt. Fraunhofer hatte dieselbe gelbe Linie in dem Spektrum des Lampenlichtes, sowie auch jenes merkwürdige Zusammentreffen wahrgenommen, ohne sich den Ursprung dieser Erscheinungen erklären zu können. Bunsen und Kirchhoff taten dies, indem sie auf die Allverbreitung der Verbindungen des Natriums und die außerordentliche Empfindlichkeit der Spektralreaktion dieses Elementes hinwiesen. So genügte das Abklopfen eines bestäubten Buches, um in einer Entfernung von mehreren Schritten das Aufblitzen der gelben Linie zu bewirken. Als beide Forscher 3 Milligramm chlorsaures Natrium mit Milchzucker in einem 60 Kubikmeter großen Raum verpufften und in diesem Raume dann die Flamme eines Bunsenbrenners spektroskopisch untersuchten, zeigte es sich, daß schon der dreimillionste Teil eines Milligramm Natriumsalz das Spektrum des Natriums mit der größten Deutlichkeit erkennen läßt. Um das Zusammenfallen der Natriumlinie mit der D-Linie zu erklären, ließ Kirchhoff Drummondsches Kalklicht, welches keine dunklen Linien giebt, sondern ein zusammenhängendes Spektrum liefert, zunächst durch eine Natriumflamme und darauf durch das Prisma



Die von Kirchhoff und Bunsen 1860 veröffentlichte Spektraltafel
(Poggendorff's Annalen der Physik und Chemie. Bd. 110. St. 2. Taf. 5.)

Verlag von Wilhelm Engelmann in Leipzig.

Lith. Anst. v. F. A. Funke, Leipzig.

fallen. Jetzt befand sich an der Stelle der gelben Linie eine dunkle; es war hiermit das erreicht, was in der Folge als eine Umkehrung des Flammenspektrums bezeichnet wurde. Die Erklärung für diese Erscheinung lieferte das bald darauf von Kirchhoff aufgefundene Absorptionsgesetz[1]), nach welchem eine Substanz diejenigen Strahlen vorzugsweise absorbiert, welche sie, in den glühenden Zustand versetzt, selbst aussendet. Hiermit waren gleichzeitig auch die Fraunhoferschen Linien des Sonnenspektrums erklärt. Sie deuteten offenbar auf Dämpfe hin, welche den glühenden Zentralkörper umgeben und das von ihm ausgehende Licht der Absorption unterwerfen, so daß Kirchhoff aus der Wirkung der letzteren auf Grund der von ihm und Bunsen an den Metallspektren und deren Umkehrungen gewonnenen Ergebnisse auf die Natur der absorbierenden Dämpfe und damit auf die materielle Beschaffenheit der Sonne, sowie der fernen Weltkörper überhaupt schließen konnte. Der Astronomie wurde durch diese Tat eine ungeahnte Perspektive eröffnet, da dem Ausspruch Humboldts[2]), daß die Weltkörper für unsere Erkenntnis nur gravitierende Materie ohne elementare Verschiedenheit der Stoffe seien, jetzt die Berechtigung entzogen war. Kirchhoff selbst lieferte eine sehr genaue Untersuchung über das Sonnenspektrum[3]), in welchem er die Lage von mehr als 2000 Linien nach einer von ihm gewählten Skala bestimmte. Dabei ergab sich, daß eine große Anzahl ausgezeichneter Fraunhoferscher Linien mit den Eisenlinien zusammenfallen, so daß schon durch diese ersten Forschungen die Anwesenheit von Natrium und Eisen in dem Sonnenkörper zur Evidenz erwiesen war. Seitdem hat die neue von den Heidelberger Forschern geschaffene Methode die Anwesenheit von mehr als 30 Elementen in der Sonne mit Sicherheit erkennen lassen und nicht nur über die Zusammensetzung, sondern auch über die Bewegungsrichtung der Fixsterne Auskunft gegeben. Wir sind daher aus den Ergebnissen der Spektralanalyse in weit höherem Maße als aus der Analyse der Meteoriten zu dem Schlusse berechtigt, daß das übrige Weltall,

---

1) Poggendorffs Annalen, 109,275. Kirchhoffs grundlegende Abhandlungen über den Zusammenhang zwischen Emission und Absorption wurden neuerdings von Max Planck wieder herausgegeben (Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften, Nr. 100. Leipzig, Verlag von Wilhelm Engelmann. 1898.

2) Humboldts Kosmos IV, 7.

3) Siehe Bd. I. Seite 397.

soweit es sich den Sinnen offenbart, denselben elementaren Aufbau wie die irdischen Stoffe besitzt.

In nicht geringerem Grade hat sich die Fruchtbarkeit der neuen Methode für die Chemie selbst offenbart. Hier wurde sie nicht nur zu dem wichtigsten analytischen Hilfsmittel, sondern sie führte schon in den Händen ihrer Erfinder zur Entdeckung neuer Grundstoffe[1]) und drang befruchtend in alle Zweige der angewandten Naturwissenschaften ein. So erblicken wir heute das Spektroskop in den Händen des Arztes, wenn es eine Kohlenoxydvergiftung nachzuweisen gilt, oder des Hüttenmannes, der aus dem Verschwinden gewisser Linien die Beendigung des Bessemerprozesses abliest.

Eine mächtige Bundesgenossin erwuchs der Spektralanalyse in der Photographie, deren bescheidene Anfänge wir schon im 53. Abschnitt des I. Bandes, sowie in früheren Abschnitten des II. Bandes kennen gelernt haben. Seitdem die bequeme Trockenplatte erfunden ist und das so empfindliche Bromsilber für die Aufnahme des Lichteindrucks nur den Bruchteil einer Sekunde beansprucht, dringt das photographische Verfahren als die zuverlässigste und mit keinen subjektiven Mängeln behaftete Beobachtungsmethode in alle Zweige der Wissenschaft und Technik ein. Es liegt in der Natur der Sache, daß die Astronomie, welche es fast nur mit Lichterscheinungen zu tun hat, in erster Linie und in solchem Maße aus dem photographischen Verfahren Nutzen zog, daß wir uns den in der neuesten Zeit emporgeblüten physikalischen Teil jener Wissenschaft ohne letzteres kaum denken können. Welch mühevolle Arbeit mußte z. B. Kirchhoff leisten, um das Sonnenspektrum so zu zeichnen, daß jede der vielen hundert Linien in der ihr zukommenden Lage und Stärke hervortrat! Dasselbe erreichte bald darauf Rutherford in kürzester Zeit und mit vollkommen objektiver Treue, als er zum erstenmale das Sonnenspektrum photographierte.

Eine weitere Bereicherung, welche indes einen mehr theoretischen Wert besitzt, erfuhr die Optik durch die terrestrische Bestimmung der Geschwindigkeit des Lichtes. Diese Bestimmung gelang den französischen Physikern Fizeau und Foucault und lieferte Ergebnisse, welche mit den früher auf astronomischem Wege erhaltenen Resultaten hinreichend übereinstimmen.

---

[1]) Es waren dies Rubidium und Caesium; siehe Poggendorffs Annalen, Bd. 113, Seite 337, 1861 oder Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften Nr. 72, Seite 28 ff.

Fizeau[1]) wandte eine Scheibe an, die nach Art der Zahnräder am Umfange gleichgroße volle und ausgeschnittene Sektoren besaß (siehe Abb. 87). Wird nun ein Lichtstrahl, nachdem er durch eine der Lücken gegangen, vermittelst eines Spiegels in der Weise reflektiert, daß er nach demselben Punkte zurückkehrt, so wird er, wenn die Scheibe sich dreht, entweder durch die Lücken durchgelassen oder von den Zähnen aufgefangen werden, je nach der Geschwindigkeit der Scheibe und dem Abstande des reflektierenden Spiegels. Fizeau stellte das Fernrohr F, welches mit der rotierenden Scheibe R, dem durchsichtigen spiegelnden Glasstück s und der Lichtquelle L verbunden war, an einem bestimmten

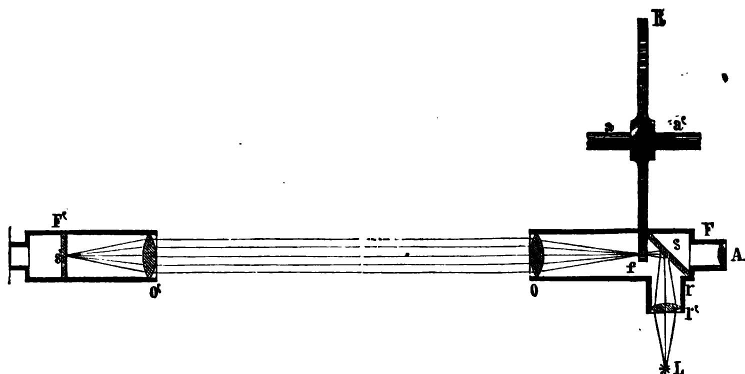


Abb. 87. Fizeaus Messung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes.

Orte auf und brachte den reflektierenden Spiegel s' in den Brennpunkt des mit F gleichgerichteten Fernrohrs F', das sich an einem 8633 Meter entfernten Orte befand. Als die Scheibe 12,6 Umdrehungen in der Sekunde machte, trat die erste Verfinsterung für den durch A blickenden Beobachter auf, ein Beweis, daß an die Stelle der Lücke ein Zahn getreten war, während das Licht den Weg von 17266 Metern (2 . 8633) durchlaufen hatte. Bei verdoppelter Geschwindigkeit des Randumfanges erglänzte der Punkt aufs neue, da der zurückkehrende Strahl jetzt die nächstfolgende Lücke traf. Bei dreifacher Geschwindigkeit entstand wieder eine Verfinsterung, bei vierfacher erglänzte der Punkt abermals und so fort. Aus der Zeit, welche der Zahn des Rades gebraucht, um an die Stelle der Lücke zu treten, und der Strecke

---

[1]) Fizeau, La vitesse de propagation de la lumière in Compt. rend. XXIX, 90. 1849, sowie in Poggendorffs Annalen XIX, Seite 167. 1850. Hippolyte Fizeau, geboren in Paris am 23. September 1819, gestorben am 18. Sept. 1896.

von 17266 Metern, welche der Strahl in eben dieser Zeit zurücklegt, berechnete Fizeau die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes zu 42219 geographischen Meilen, ein Wert, der nur um 0,5 % von demjenigen abweicht, der sich aus der Verfinsterung der Jupitertrabanten unter Zugrundelegung der Enckeschen Sonnenparallaxe ergibt.

Von hervorragendem Interesse war die zweite, von Foucault eingeschlagene Methode, da sie endgültig gegen die Emissionstheorie zu gunsten der Undulationshypothese entschied. Nach der ersteren Theorie wird nämlich die Brechung des Lichtes durch eine Beschleunigung veranlaßt, welche es bei seinem Eintritt in das dichtere Medium erfährt, während nach der Undulationstheorie in diesem Falle eine Verringerung der Lichtgeschwindigkeit eintritt. Arago hatte schon 1838 darauf hingewiesen, daß die eine von den beiden Theorieen unterlegen sei, sobald es gelänge, experimentell festzustellen, in welchem Sinne die Geschwindigkeit des Lichtes bei seinem Eintritt aus dem dünneren in das dichtere Medium sich ändert. Die Bewältigung dieses Problems von solch ausschlaggebender Bedeutung gelang Foucault im Jahre 1854[1]). Er bediente sich dazu des sich rasch drehenden Spiegels, welchen Wheatstone[2]) schon im Jahre 1834 zur Bestimmung der Geschwindigkeit der Elektrizität benutzt hatte. Wheatstones Methode beruht darauf, daß zwei rasch aufeinander folgende, für das gewöhnliche Sehen gleichzeitige Ereignisse, wie das Überspringen des elektrischen Funkens an verschiedenen Unterbrechungsstellen ein- und desselben Stromkreises, in ihrem zeitlichen Nacheinander an der gegenseitigen Verschiebung erkannt werden, welche die entsprechenden, durch einen rasch rotierenden Spiegel erzeugten Bilder erleiden. In ähnlicher Weise, wie es Fizeau getan, ließ Foucault den Lichtstrahl eine gewisse Strecke zurücklegen und durch Reflektion wieder nach seinem Ausgangspunkte gelangen, wo er den rotierenden Spiegel traf. Hatte letzterer innerhalb der verflossenen Zeit schon einen deutlich wahrnehmbaren aus der Verschiebung des Spiegelbildes zu entnehmenden Winkel beschrieben, so ergab sich aus dem entsprechenden Zeitintervall, sowie aus der vom Licht durchlaufenen Strecke die Geschwindigkeit des letzteren. Der so gefundene

1) Annales de Chimie et de Physique. 1854. XLI, 163.

2) Philos. Transact. f. the year 1834, sowie Poggendorffs Annalen, Bd. XXXIV.

Wert war etwas geringer als der von Fizeau ermittelte; er betrug nämlich 40160 Meilen. Indem dann Foucault die vom Lichte zu durchlaufende Strecke so klein wählte, daß er eine mit Wasser gefüllte Röhre in diese Strecke einschalten konnte, fand er, daß das Licht sich in dem dichteren Medium langsamer bewegt als in der Luft. Foucault konnte daher seine Abhandlung mit der Erklärung schließen, daß die Emissionstheorie mit den Tatsachen im Widerspruche stehe. Damit war ein durch $1^1/_2$ Jahrhunderte währender Streit zu dem seit Fresnels Erfolgen allerdings nicht mehr zweifelhaften Ausgange geführt.

9. Aufgaben und Ziele.

Die großen Errungenschaften, deren Zustandekommen der Gegenstand der bisherigen Darstellung gewesen ist, bestimmen nach Inhalt wie nach Richtung auch die Forschung unserer Tage, so daß es, um weitere Erfolge zu zeitigen, durchaus nicht immer der Auffindung neuer Wege und Methoden bedarf. Vielmehr versprechen die zahlreichen Ansätze, welche der heutigen Generation neben einem festgefügten Lehrgebäude übermittelt sind, eine stete Fortentwicklung der Naturwissenschaften. Hierzu wirkt sowohl die Verfeinerung der Hilfsmittel, welche immer schärfere Messungen erlauben, als auch der Umstand, daß die Experimentierkunst durch ihre Verbindung mit der Ingenieurmechanik einen Zug ins Großartige nimmt, den die älteren Forscher mit ihren bescheidenen Mitteln nicht kannten.

Als ein Beispiel für die an erster Stelle erwähnte Genauigkeit der Messungen kann aus der Geschichte unserer Tage die Entdeckung des Argons genannt werden, jenes von Rayleigh und Ramsay 1894 aufgefundenen Bestandteiles der Luft, den Cavendish wie sich nachher herausgestellt, schon hundert Jahr früher isoliert hatte[1]). Rayleigh ging von der Aufgabe aus, die Zusammensetzung des Wassers mit möglichster Schärfe zu bestimmen[2]). Dazu waren genaue Wägungen von Wasserstoff und Sauerstoff erforderlich, welche Rayleigh einige Jahre später auch auf den Stickstoff ausdehnte[3]). Während nun ein Liter des aus der Luft entnommenen Stickstoffs 1,257 g wog, ergab sich für den aus

[1]) Siehe Seite 312 ds. Bds.
[2]) Proceedings of the Royal Society, 1889, Vol. XLV, Nr. 278, p. 425.
[3]) Proceedings of the Royal Society, 1894, Vol. LV, Nr. 334, p. 340.

Ammoniumnitrit und anderen Verbindungen hergestellten Stickstoff ein etwas geringeres Gewicht (1,250 g). Die alsbald auftauchende Vermutung, daß dem aus der Atmosphäre gewonnenen Stickstoff eine kleine Menge eines erheblich schwereren Gases beigemengt sei, hat sich darauf bestätigt. Wurde nämlich der Luft zunächst der Sauerstoff und dann der Stickstoff entzogen, so blieb ein schweres Gas zurück, das wegen seiner chemischen Indifferenz Argon genannt wurde. Die Entdeckung dieses Stoffes ist, wenn auch scherzweise, so doch mit Recht als ein Triumph der dritten Dezimale, in welcher sich ja erst der Unterschied im Gewicht des chemisch reinen und des atmosphärischen Stickstoffs bemerkbar macht, bezeichnet worden.

Die Zeiten eines Scheele und eines Berzelius, in welchen bescheidene, auch dem Privatmanne zu Gebote stehende Mittel genügten, um die der Wissenschaft gestellten Aufgaben zu bewältigen, sind längst vorüber. Um ein Problem auf experimentellem Wege bis in seine letzten Konsequenzen zu verfolgen, bedarf es häufig eines Aufwandes an Kosten und an Mühe, der die Kräfte des Einzelnen bei weitem übersteigt. So wurde das Gebiet der Kondensation der Gase in den zwanziger Jahren von Faraday durch einfache Versuche erschlossen[1]). Sein Verfahren bestand darin, daß er Gase aus der Entwicklungsflasche in geschlossene Gefäße leitete und sie in einigen Fällen unter dem so erzeugten Druck verflüssigte. An die Stelle dieser einfachen Versuchsanordnung trat die Kompressionsmaschine; und als man erkannte, daß der bloße Druck häufig nicht ausreicht, wandte man gleichzeitig tiefe Temperaturen an. Zu einem gewissen Abschluß gelangte diese Versuchsreihe erst in unseren Tagen durch die Bemühungen Dewars, der unter einem Druck von 180 Atmosphären auf —205° abgekühlten Wasserstoff verflüssigte. Mit dem Aufbau des dafür erforderlichen Apparates waren drei Ingenieure ein volles Jahr beschäftigt, so daß die Schlußbemerkung Dewars[2]), daß zu derartigen Versuchen in erster Linie Geld gehöre, sehr berechtigt erscheint.

Durch die Anwendung gewaltiger, nur vermöge einer entwickelten Technik zur Verfügung stehender Druckkräfte von vielen tausend Atmosphären wurde ferner der seit alters geltende Satz, daß die Körper nur im gelösten Zustande chemisch wirken[3]), einer

[1]) Siehe Seite 385 ds. Bds.

[2]) Nature, 1898, Vol. LVIII, p. 56.

[3]) Corpora non agunt, nisi soluta.

erheblichen Einschränkung unterworfen. So gelang es, um nur eine der zahlreichen durch Druck bewirkten Umsetzungen zu erwähnen, in einem völlig trockenen Gemisch von Bariumsulfat und Natriumkarbonat bei gewöhnlicher Temperatur die Bildung von Natriumsulfat und Bariumkarbonat herbeizuführen, indem man das Gemenge einem Drucke von 6000 Atmosphären aussetzte [1]).

Die Anwendung außerordentlich tiefer Temperaturen, sowie gewaltiger Druckkräfte erschließt ein unabsehbares Feld für weitere Untersuchungen. Während z. B. die Reaktionsfähigkeit der Materie durch eine Erhöhung des Druckes eine beträchtliche Zunahme erfährt, stellt sich unter dem Einfluß tiefer Temperaturen das Gegenteil ein. So werden die Alkalimetalle bei der Temperatnr des siedenden Sauerstoffes von diesem Elemente, für das sie sonst die größte Affinität besitzen, überhaupt nicht angegriffen. Eine Abschwächung erfährt auch der Widerstand elektrischer Leiter, so daß vermutlich dieser Widerstand mit der Annäherung an den Nullpunkt der absoluten Temperatur für vollkommen reine Metalle aufgehoben wird.

Auch die Bemühungen, sehr hohe Wärmegrade zu erzeugen, eröffnen die Aussicht auf eine Fülle ungeahnter Fortschritte von technischer und theoretischer Bedeutung. Als das wichtigste Mittel zur Erzielung hoher Temperaturen ist seit einigen Jahrzehnten an die Stelle des Knallgasgebläses der elektrische Ofen getreten, ein Apparat, der uns vor kurzem das Calciumcarbid, das Carborund und andere technisch wichtige Verbindungen beschert, sowie die Darstellung des Aluminiums im großen ermöglicht hat. Indem man im elektrischen Ofen Kohlenstoff in flüssigem Eisen löste und unter hohem Druck krystallisieren ließ, gelang sogar die Darstellung von Diamanten.

Um das Verhalten flüchtiger Elemente und Verbindungen bei hohen Temperaturen zu studieren und zu wichtigen Schlüssen bezüglich der Konstitution der Materie zu gelangen, sind ergiebige Wärmequellen nicht das einzige Erfordernis, sondern hier handelt es sich in erster Linie um die Beschaffung eines widerstandsfähigen Materiales. An die Stelle des anfänglich benutzten Glases traten Porzellan und Platin, so daß die Bestimmung der Dampfdichte schließlich bei 1700° ausgeführt werden konnte. Ein interessantes Ergebnis dieser insbesondere von Victor Meyer angestellten pyrochemischen Untersuchungen besteht darin, daß die Elemente

[1]) Bulletin de la Société chimique de Paris, T. XLIV, p. 166.

Chlor, Brom und Jod bei einer Temperatur von 1400° nicht mehr im molekularen Zustande beharren, sondern in ihre Atome gespalten werden, während z. B. Sauerstoff und Stickstoff bei jener Temperatur ihr molekulares Gefüge noch nicht ändern. Den Bemühungen, Gefäße herzustellen, welche das Platin an Widerstandsfähigkeit übertreffen und eine Ausdehnung dieser für die Erkenntnis der Konstitution der Materie so überaus wichtigen Versuche ermöglichen, ist Victor Meyer durch seinen allzu frühen Tod entrissen worden. Der Gedanke, im Einklang mit dem periodischen System die zusammengesetzte Natur der Elemente auf pyrochemischem Wege nachzuweisen, wird aber auch für spätere Forscher leitend bleiben, zumal die Hoffnung, auf spektral-analytischem Wege diesen Nachweis zu führen, wenig Aussicht auf Erfüllung bietet.

Während man einerseits die Zurückführung der Elemente auf einen einzigen Urstoff wenigstens in Betracht zieht, sehen wir die analytische Chemie unserer Tage die Zahl der Elemente noch immerfort durch die Entdeckung neuer Grundstoffe vermehren. Neben dem Skandium und dem Germanium, deren Bedeutung für das periodische System wir kennen lernten, sind hier in erster Linie Argon und Helium zu nennen. Hat doch der Entdecker des Germaniums vor kurzem der Meinung Ausdruck verliehen, daß die Erforschung dieser Elemente einen Anstoß zum weiteren Ausbau, wenn nicht zur Umgestaltung des periodischen Systemes geben werde[1]).

Neben der wachsenden Schärfe der Messungen und der großartigen Entwicklung der experimentellen Technik erweist sich ferner die innige Verknüpfung der verschiedenen Wissenschaftsgebiete als eine unerschöpfliche Quelle des Fortschritts. So ist im Verlauf der letzten Jahrzehnte aus bescheidenen Anfängen die physikalische Chemie erwachsen, welche neben einer Umgestaltung der chemischen Technik auch einen tieferen Einblick in die Natur der chemischen und der elektrischen Vorgänge herbeizuführen bestrebt ist.

Eingeleitet wurde die neueste Phase in der Entwicklung der Elektrochemie dadurch, daß Siemens 1867 durch die rein physikalische Entdeckung des dynamoelektrischen Prinzipes zur Erfindung der Dynamomaschine geführt wurde. Die infolgedessen eintretende Verbilligung der elektrischen Energie kam zunächst dem Hüttenwesen zu gute, da die Abscheidung eines Metalles aus seinen Salzen zu den einfacheren elektrolytischen Vorgängen gehört

---

[1]) Cl. Winkler, Berichte der Deutschen chemischen Gesellschaft. 1897, Jahrg. XXX.

und oft ein nahezu chemisch reines Erzeugnis liefert. So kommt die elektrolytische Gewinnung des Kupfers z. B. der hohen Leitfähigkeit des reinen Metalles wegen in erster Linie der Elektrotechnik selbst wieder zu gute. Die weitere Ausdehnung der Elektrolyse auf den chemischen Großbetrieb, soweit es sich um anorganische Prozesse handelt, scheint nur eine Frage der Zeit zu sein. Selbst die organisch-chemischen Gewerbe beginnen sich in jüngster Zeit des neuen Mittels zu bedienen, so daß das 20. Jahrhundert auf diesen Gebieten sich einer Fülle neuer Aufgaben gegenüber gestellt sieht.

Als Energiequelle stand dem Elektrochemiker zunächst die Dampfmaschine zu Gebote. Das Bestreben, den neuen elektrolytisch gewonnenen Erzeugnissen durch billige Preisstellung den Markt zu erschließen, hat in unseren Tagen zu einer stetig wachsenden Benutzung der Kraft des strömenden Wassers geführt. Aber auch die bessere Verwertung des in den fossilen Brennstoffen vorhandenen, leider nur begrenzten Energievorrats gehört zu den Zielen, welche die moderne Elektrochemie zu erreichen verspricht. An die Stelle der Dampferzeugung, welche im günstigsten Falle einen Nutzeffekt von 7 % der in der Kohle aufgespeicherten Energie liefert, würde dann die sofortige Umwandlung der chemischen Spannkraft in elektrischen Strom treten, eine Neuerung, die sich in allen ihren Folgen kaum ausdenken ließe.

Nicht minder belangreich wie die technischen Fortschritte sind die Früchte, welche die innige Verknüpfung der Physik mit der Chemie auf wissenschaftlichem Gebiete zeitigt. Hier sind van 't Hoffs Entdeckung, daß die Stoffe in der Lösung denselben Gesetzen gehorchen wie im gasförmigen Zustande, sowie die von Arrhenius und Ostwald begründete Theorie der elektrolytischen Dissociation die Etappen, die in erster Linie geeignet scheinen, dem weiteren Eindringen in das Gebiet der Molekularphysik und die Natur des chemischen Prozesses die nötigen Stützen zu gewähren.

Daß sich nicht nur zwischen den einzelnen Wissenschaften, sondern auch zwischen den Teilgebieten eines und desselben Zweiges noch manche wichtige Beziehung knüpfen läßt, haben neuerdings die epochemachenden, die Kluft zwischen der Optik und der Elektrizitätslehre überbrückenden Versuche eines Hertz ergeben. Seitdem Faraday im Jahre 1845 die Wirkung des Elektromagneten auf polarisiertes Licht nach-

gewiesen[1]), hatte sich die Vorstellung entwickelt, daß nicht nur die optischen, sondern auch die magnetischen und die elektrischen Erscheinungen auf eine Wellenbewegung des Äthers zurückzuführen seien. Ihren vollkommensten Ausdruck fand diese Überlegung in Maxwells elektromagnetischer Theorie des Lichtes. Den experimentellen Nachweis für die Zulässigkeit der von Maxwell entwickelten Anschauung haben aber erst die erwähnten Versuche von Hertz geliefert. Dieser Forscher zeigte nicht nur, daß sich die Induktionswirkung wellenförmig und mit gleicher Geschwindigkeit wie das Licht durch den Raum fortpflanzt[2]), sondern er stellte mit den von ihm hervorgerufenen Strahlen elektrischer Kraft alle jene fundamentalen Versuche an, welche unter dem Namen der Reflexion, Brechung und Polarisation auf den Gebieten der Optik und der Wärmelehre seit langem bekannt sind. Und so konnte Hertz nach Abschluß seiner Versuche ausrufen[3]): „Die Verbindung zwischen Licht und Elektrizität, welche die Theorie ahnte, vermutete, voraussah, ist hergestellt. Von dem Punkte, den wir erreicht haben, eröffnet sich ein weiter Ausblick in beide Gebiete. Die Herrschaft der Optik beschränkt sich nicht mehr auf Ätherwellen, welche kleine Bruchteile des Millimeters messen, sie gewinnt Wellen, deren Längen nach Dezimetern, Metern, Kilometern rechnen. Und trotz dieser Vergrößerung erscheint sie uns von hier gesehen nur als ein kleines Anhängsel am Gebiete der Elektrizität.“ Auf dem durch Hertz erschlossenen Felde der elektrischen Strahlung, das durch die Entdeckung Röntgens noch eine ungeahnte Erweiterung erfuhr, sehen wir heute zahlreiche Forscher tätig. Das letzte von einer Lösung wohl noch weit entfernte Problem, das diesen vorschwebt, ist die Frage nach der Natur des raumerfüllenden Äthers, welcher an die Stelle der früheren Imponderabilien getreten ist, und nach seinem Verhältnis zu der wägbaren Materie. Ob den zu erhoffenden Aufschlüssen gegenüber die atomistische Auffassung des Naturganzen Stand halten oder eine rein energetische an deren Stelle treten wird, hängt von den schließlichen Erfolgen der hier gestreiften Untersuchungen ab.

---

1) Siehe Seite 389 ds. Bds.

2) Sitzungsberichte der Berliner Akademie der Wissenschaften. 1888. Seite 197.

3) H. Hertz, Über die Beziehungen zwischen Licht und Elektrizität. Ein Vortrag, gehalten auf der 62. Versammlung deutscher Naturforscher und Ärzte. Bonn 1889.

Die übrigen Gebiete der Naturwissenschaften stehen heute noch mehr als in den vorangegangenen Perioden unter dem überwiegenden Einfluß der chemisch-physikalischen Forschung. Auf die von letzterer gebotenen Hilfsmittel ist man in erster Linie angewiesen, wenn es Probleme gilt, welche das Verhalten der außerhalb der Erde befindlichen Materie oder die Natur der organisierten Substanz betreffen. So ist der Aufschwung, den die Himmelskunde durch die Erfindung des Fernrohrs erfuhr, kaum größer gewesen als derjenige, den in unserem Zeitalter die Einführung des Spektroskops, sowie der photographischen Camera für die astronomische Wissenschaft herbeigeführt hat. Des ferneren hat sich kein physikalischer Grundsatz gleich fruchtbar für diese Disziplin erwiesen, als der von Doppler ausgesprochene Gedanke, daß die Höhe eines Tones, sowie die Art eines Lichteindruckes davon abhängen, ob sich die Entfernung zwischen der Wellenquelle und dem empfindenden Organe vergrößert oder verringert. Der Versuch dieses Forschers[1]), den Farbenunterschied gewisser Doppelsterne aus seinem Prinzip zu erklären, ist indessen schon aus dem Grunde als mißlungen zu bezeichnen, weil Körpergeschwindigkeiten, welche die Farbe des Lichtes merklich beeinflussen könnten, jedes bekannte Maß überschreiten würden. Als man aber 1868 kleine Verschiebungen der Linien bekannter Elemente in den Spektren der Sterne wahrnahm, erinnerte man sich des Dopplerschen Prinzips, welches jene nach beiden Seiten stattfindenden Verschiebungen nicht nur zu erklären vermochte, sondern auch ein Mittel an die Hand gab, um aus dem Grade dieser Verschiebungen die Größe der Annäherung und der Entfernung eines Licht spendenden Körpers in absolutem Maße zu ermitteln, selbst wenn, wie bei Arktur, die Tiefe des zwischenliegenden Raumes so ungeheuer ist, daß der Lichtstrahl Jahrhunderte gebraucht, um unser Spektroskop zu treffen.

Die Methode der Linienverschiebung ermöglichte es z. B. den Leitern des Potsdamer Observatoriums[2]), eine Erklärung der rätselhaften Erscheinung zu geben, welche Algol im Sternbilde des Perseus den Astronomen seit 200 Jahren bietet. Dieser Stern zeigt nämlich innerhalb der kurzen Zeit von 68 Stunden einen

[1]) Doppler, Über das farbige Licht der Doppelsterne. Abhandlungen der Kgl. böhm. Gesellschaft, II. 1843. Den einleitenden Abschnitt aus Dopplers Abhandlung bringt das 62. Kapitel des I. Bandes dieses Grundrisses.

[2]) Vogel und Scheiner, siehe Sitzungsbericht der Berliner Akademie der Wissenschaften v. 28. XI. 1889.

eigentümlichen Lichtwechsel. Nachdem er etwa 60 Stunden als Stern 2. Größe geglänzt hat, nimmt er innerhalb 4 Stunden um mehrere Größen ab, wächst dann in derselben Zeit wieder zu einem Gestirn 2. Größe an, um diesen Wechsel nach abermals 60 Stunden zu wiederholen. Die spektroskopische Beobachtung hat nun ergeben, daß sich Algol vor dem Minimum von uns entfernt und danach sich uns wieder nähert. Der Stern besitzt also eine kreisende Bewegung, welche der Periode des Lichtwechsels entspricht. Beide Erscheinungen weisen darauf hin, daß, wie schon früher vermutet wurde, Algol zur Klasse der Doppelsterne gehört, und daß ein dunkler, sehr naher Begleiter durch seine Vorübergänge jenen eigenartigen Lichtwechsel hervorruft.

Auch wo es sich um leuchtende Doppelsterne handelt, welche durch die schärfsten Teleskope nicht getrennt gesehen werden können, gibt das Spektroskop uns Aufschluß. In diesem Falle werden nämlich die Spektrallinien in bestimmten Zeitintervallen doppelt erscheinen und damit beweisen, daß das scheinbar einheitliche Licht des Gestirnes von einem sich uns nähernden und von einem sich entfernenden Weltkörper ausgesandt wird[1]. Auch über die Vorgänge, welche sich im Sonnensystem darbieten, hat die spektroskopische Methode Licht verbreitet. Huggins, welcher zuerst die Geschwindigkeit des Sirius bestimmte, äußerte die Ansicht, daß man mit Hilfe dieser Methode die wichtigsten Entdeckungen des neuen Jahrhunderts machen werde[2]. Da das Spektroskop nur die in die Gesichtslinie fallende Bewegungskomponente zu messen gestattet, bedarf es einer Ergänzung durch Bestimmung der senkrecht zu jener Richtung vor sich gehenden Ortsveränderungen. An diesem Punkte nun setzt eine astronomische Aufgabe ein, welche an Bedeutung und an Großartigkeit bisher nicht ihres Gleichen hat. Im Jahre 1887 faßte nämlich in Paris eine internationale Versammlung den Beschluß, eine Himmelskarte auf photographischem Wege herzustellen. 18 Sternwarten, unter denen sich das astrophysikalische Observatorium zu Potsdam befindet, haben sich in diese Aufgabe geteilt. Ihre Organisation hat bis zur Erledigung der Einzelheiten allein drei Jahre gedauert. Handelt es sich doch um 22000 Aufnahmen, welche alle Sterne bis hinab zur 14. Größenklasse umfassen. Früchte sind von dieser Riesenarbeit aber nur dann zu erhoffen, wenn spätere Generationen

---

1) Ein solches Verhalten zeigen Mizar und β Aurigae.

2) W. Huggins, Rede zur Eröffnung der British Association, 1891.

sie wiederholen und so die nötigen Vergleichspunkte gewinnen werden. Es ist dies die einzige Möglichkeit, die am Fixsternhimmel periodisch vor sich gehenden Bewegungen, sowie die Bahn des Sonnensystems, dessen augenblickliche Bewegungsrichtung die Forschungen der letzten Jahrzehnte mit einiger Zuverlässigkeit dargetan haben, zu enthüllen.

Wenden wir uns von den fernen Sonnen zu den Gliedern unseres Planetensystems, so sind die Aufgaben, welche sich auch hier dem Astronomen bieten, nicht weniger interessant und zahlreich, zumal die Begierde, einen Einblick in die auf der Oberfläche der nächsten Himmelskörper stattfindenden Vorgänge zu tun, durch einige Entdeckungen der neueren Zeit in ganz besonderem Grade rege geworden ist. Leider wird das Teleskop die Grenzen seiner Leistungsfähigkeit wohl bald erreicht haben, so daß die Hoffnung, durch Beobachtung der Marsoberfläche z. B. unverkennbare Spuren lebender Wesen zu finden, kaum jemals in Erfüllung gehen dürfte. Vorläufig bietet auch das organische Leben, wie es sich hier auf der Erde abspielt, der Aufgaben und der Rätsel so viele, daß es dem forschenden Geiste an Zeit mangelt, sich wissenschaftlichen Träumen über eine Vielheit der Lebewelten hinzugeben.

Seitdem man die höheren Organismen als eine Vereinigung von Elementargebilden auffassen gelernt hat, erblickt die Physiologie ihre wichtigste Aufgabe in dem Studium der einzelnen Zelle mit ihrem protoplasmatischen Inhalt in der Voraussetzung, daß sie sich hier dem Problem des Lebens in seiner einfachsten Gestalt gegenüber befindet. Bisher hat man sich indessen fast ausschließlich darauf beschränkt, den Ablauf der Verrichtungen der Zelle, sowie die Reaktionen der lebenden Substanz auf den Angriff der verschiedenartigsten Kräfte nach Art und Größe kennen zu lernen. Die wichtige Aufgabe dagegen, den Lebensvorgang selbst als chemisch-physikalischen Prozeß zu deuten, hat sich bisher als wenig zugänglich erwiesen, wenn sich die Physiologie auch von der Überzeugung leiten läßt, daß es ein, wenn auch äußerst verwickelter Mechanismus ist, dem sie sich gegenüber befindet. So steht z. B. die Botanik der Assimilation, mit dem die Kette der in der Pflanze und dem Tiere vor sich gehenden Prozesse erst beginnt, noch ebenso ratlos gegenüber wie zu den Zeiten Saussures und Liebigs. Selbst der Bau des Protoplasmas, dessen Kenntnis zu den ersten Voraussetzungen für ein tieferes Eindringen in das Wesen dieser Substanz gehört, bedarf nach

vielen Richtungen noch der Aufklärung, zumal die neuesten mikroskopischen Untersuchungen das unerwartete Resultat ergeben haben, daß die Plasmakörper der einzelnen Zellen durch feine Fäden miteinander in Verbindung stehen[1]). Hierdurch erleidet die bisherige Auffassung von der Individualität der Elementarorganismen eine weitgehende Einschränkung, während andererseits nach Erkenntnis dieser Sachlage sich für manches bisher unzugängliche Problem, wie z. B. die Reizfortpflanzung und die Saftleitung, die Möglichkeit einer Lösung eröffnet.

Mit diesem kurzen Hinweis auf einige der wichtigsten unter den zahllosen Aufgaben und Zielen der exakten Forschung ist aber auch das Ziel dieses Buches erreicht. Wir haben das Ringen nach einem Einblick in den Zusammenhang der Naturerscheinungen, dem die Menschheit soviel verdankt, von seinen Anfängen bis auf den heutigen Tag verfolgt. In diesem unermüdlichen Ringen, welches einst Lessing höher als den mühelosen Besitz der Wahrheit schätzte, liegt zugleich die sicherste Gewähr des steten Fortschritts zu höherer Einsicht und Gesittung.

---

1) F. Kienitz-Gerloff: Die Protoplasmaverbindungen zwischen benachbarten Gewebselementen in der Pflanze. Botanische Zeitung 1891, Jahrgang XLIX, Nr. 1—5.

Namenregister.

A.

Aepinus I 176, II 253, 263, 264, 418.
Agricola II 107, 108, 109, 223, 225.
Aldrovandi I 242, II 111.
Alexandriner II 45—51, 57—61, 74, 76.
Alhazen II 41, 71, 72, 73, 82, 171.
Alliaco II 89.
Amici I 223, II 297.
Ampère II 334, 335.
Anaxagoras II 10, 202.
Anaximander II 8, 16.
Anaximenes II 10, 41.
Apian II 243.
Apollonios II 12, 35, 46, 58, 72, 100, 120.
Appert I 408.
Araber II 68—78, 93.
Arago II 362, 366, 370, 383, 386, 428.
Archimedes I 10 u. f. 41, II 1, 3, 12, 19, 30, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 44, 47, 50, 67, 84, 92, 120, 175, 176, 184.
Aristarch II 10, 13, 17, 18, 19, 21, 35, 46, 49, 57, 97, 98.
Aristill II 18, 48.
Aristophanes II 14.
Aristoteles I 1 u. f. 24, 49, 407, II 2, 3, 5, 9, 10, 12, 15, 16, 17, 22—27, 29—32, 37, 44, 47, 48, 55, 56, 58, 67, 71, 93, 97, 112, 131, 150, 159, 196, 234, 238.
Aristoteliker I 38.
Arrhenius II 433.
Avogadro II 364.

B.

Bacon, F. I 87 u. f. 84, II 2, 99, 142, 146, 147, 148.
Bacon, Roger II 81, 82, 83, 84, 90, 104, 116.
Bartholin II 197.
Bartholomäus Diaz II 87.
Basilius Valentinus II 106, 107, 186.
Bauhin II 110.
Becher II 221, 222.
Behaim II 88, 90.
Benzenberg II 348, 349.
Bergmann I 158, 159, II 274, 276, 303.
Bernoulli II 220, 241, 242.
Berthollet I 239, 261, II 315, 361, 363.
Berzelius I 254 u. f., 275, 374, II 301, 319, 320, 348, 368, 369, 392, 393, 395, 418.
Bessel I 33, 346 u. f., 384, II 162, 164, 383, 384.
Biot II 361, 362.
Bischof II 417.
Black I 200, II 272, 273, 289, 303.
Blumenbach I 242 u. f., II 283, 378, 379.
Bock II 109, 230.
Boerhave II 233.
Boëthius II 67.
Borelli II 236, 237.
Böttger II 219.
Bouguer II 246, 249.
Boussingault I 240.
Boyle I 66, 90, II 187, 188, 189, 221, 222, 301, 309, 311, 314, 405.
Bradley I 351, II 250, 251, 252, 348.
Brandes II 348.
Brandt II 221.
Brewster I 399.
Brown II 398.
Brücke II 287, 411, 412.
Brunfels II 109, 230.
Buch II 107, 364.
Buffon I 146, II 298, 372.
Bunsen I 391 u. f., 400, II 356, 423, 424, 425.
Bürgi II 167.

C.

Caesalpin II 108, 110, 230, 231, 281, 298.
Camerarius I 10, 124 u. f., 129, II 231, 232, 281, 290.
Camper II 379.
Carangeot II 275.
Cardanus I 51, 160.
Carlisle II 330.
Carnot I 340 u. f.
Cäsar II 13.
Cassini II 207, 218, 251, 342.
Cassiodor II 67.
Cavalieri II 175, 177, 192.
Cavendish II 304, 312, 313, 315, 429.
Celsius I 121 u. f., II 272.
Charles II 361.
Charpentier II 417.
Chladni I 50, 154 u. f., 163, 383, II 347, 348.
Cicero I 29, II 34.
Clifford II 280.
Collinson II 260.
Columbus II 62, 87, 89, 90, 103, 143.
Comenius II 148.
Condamine II 246. 247.
Corti II 398.
Coulomb II 264, 265, 266.
Courtois I 262 u. f.
Cronstedt II 274.
Cunäus II 255.
Cusa II 84, 85, 87, 94.
Cuvier I 245 u. f., 279 u. f., II 26, 373–383, 396.

D.

Daguerre I 299, II 406.
d'Alembert II 262.
Dalton I 251 u. f., II 10, 301, 316, 317, 318.
Dana II 417.
Darwin I 332 u. f., II 284, 292, 412—415.
Daubrée II 416, 419.
da Vinci II 85, 86, 87, 103, 119, 129.
Davy I 268 u. f., II 258, 331, 332, 333, 352, 353, 385, 391.
Decandolle II 282, 372.
Delalande II 248.
Descartes I 86, 167, 168, II 173, 174, 175, 190, 192, 197, 203, 207, 208, 215, 224, 225, 260.
Dewar II 430.
Dioskorides II 56, 57, 93.
Döbereiner II 404, 421.
Dollond II 245, 246.
Doppler I 353, II 435.
Du Fay I 177, II 253, 254.
Dutrochet II 411.

E.

Ehrenberg I 390, II 412, 416, 417.
Encke II 384.
Erasistratus II 55.
Erasmus von Rotterdam II 83.
Eratosthenes I 13, II 20, 21, 45, 70.
Euklid II 35, 38, 45, 46, 67, 84, 92, 120, 171, 192.
Euler I 163 u. f., II 89, 196, 199, 241—245, 260, 336, 337.

F.

Fabricius II 114, 150, 151, 238.
Fahrenheit I 121, II 271.
Faraday I 182, 294 u. f., 417, II 335. 384—390, 403, 405, 407, 430, 433.
Fizeau II 427.
Fontana II 362.
Foucault I 402, 428.
Franklin I 172 u. f., 179, 181, II 253, 256, 259—262.
Fraunhofer I 398, 399, 401, II 246, 355, 356, 383, 424.
Fresnel I 96, II 359, 418.
Fuchs II 419.
Füchsel II 276, 277.
Fulton II 269.

G.

Gahn II 221.
Galen I 24, II 56, 106, 112, 114, 226.
Galilei I 10, 27, 34, 57, II 31, 58, 86, 87, 89, 103, 104, 115, 117, 118, 119, 120—141, 144, 145, 146, 147, 150, 155, 158, 174, 177, 178, 186, 190, 191, 193, 203, 204, 206, 208, 210—215, 220, 241, 243.
Galle I 148, II 383.
Galvani I 204 u. f., II 320—325.
Gauß II 390, 407.
Gay-Lussac I 258 u. f., 408, II 301, 361—365, 393, 403, 408.
Geber II 75, 76, 77, 83, 93, 106.
Gemma Frisius II 243.
Geoffroy Saint Hilaire II 373, 377.
Gessner I 242, II 108, 111.
Gilbert I 53 u. f., 57, II 103, 115, 138, 142, 143, 144—147, 170, 185, 253.
Giordano Bruno II 100, 126.
Glover II 403.
Gmelin I 374.
Goethe I 4, 217 u. f., II 379, 380.
Graham II 244.
Gregory II 194.
Grey II 254, 255.
Grew I 129, II 229, 230, 284, 288.
Grimaldi II 197, 198, 201.

Guericke I 56, 90, II 115, 132, 180, 181, 184, 185, 186, 189, 219, 253, 254, 289.
Guettard II 277.
Gutenberg II 90, 132.

H.

Hales I 116 u. f., II 273, 284–289, 302, 392, 395.
Hall II 416.
Haller II 299.
Halley I 383, II 247, 248, 271, 344.
Hamilton II 359.
Hansen II 256, 257.
Harrison II 244.
Hartmann II 103, 143.
Harvey II 56, 114, 226, 234, 284, 299.
Hausmann II 417.
Hauy II 275, 366, 367, 368.
Helmholtz I 360, II 38, 358, 402.
Herakleites Pontikos II 96.
Herodot II 6.
Heron I 16 u. f., II 50, 51, 93, 102, 140, 266.
Herophilus II 55.
Herschel I 137, 149 u. f., 382, 384, II 196, 245, 336, 339, 340—346, 353, 354, 382, 391.
Hertz I 182, 415 u. f., 434.
Hesiod II 16.
Hevel I 158, II 127.
Hipparch II 18, 46, 47, 48, 49, 60, 61, 88, 103, 148.
Hofmeister II 411.
Homer II 16.
Hooke II 117, 194, 197—202, 207, 224, 225, 227, 228, 251, 350, 356.
Hudson II 144.
Huggins II 436.
Humboldt I 259, 380, II 61, 107, 224, 336, 344, 363, 364, 399, 425.
Hutton 249, 278.
Huygens I 40, 87 u. f., 137, II 132, 134, 135, 137, 140, 175, 198, 199, 206—217, 220, 227, 241, 242, 244, 246, 247, 271, 337, 342, 358.

J.

Jacobi II 407.
Jansen II 116.
Ingenhouß I 236, 396.
Joule I 361, II 352, 401, 402.
Jungius II 281, 298.
Jussieu, Antoine Laurent de II 282; 371, 411.
Jussieu, Bernard de II 282, 371, 411.

K.

Kant I 137 u. f., 361, 382, 388, II 125, 225, 344, 346.
Kaspar Schott I 69.
Kekulé II 419, 420.
Keppler I 48, 84, 347, II 16, 40, 88, 97, 105, 115, 118, 119, 120, 122, 124, 138, 145, 149, 151—160, 164–176, 181, 190, 191, 192, 195, 202, 339.
Kienmayer II 257.
Kinnersley II 261.
Kirchhoff I 391 u. f., II 356, 423, 424, 425, 426.
Klaproth II 368.
Kleinenberg II 295.
Knorr II 279.
Kölreuter I 129, 230, II 232, 290, 291, 299.
Kopernikus I 10, 27 u. f., 83, 346, II 17, 19, 58, 59, 85, 87, 88, 91, 94—100, 122, 124, 126, 148, 155, 157, 163, 165, 167, 170.

L.

Lagrange II 176.
Lamarck I 5, 246, II 380, 413.
Langmantel II 225.
Laplace I 144, 196 u. f., 362, II 125, 175, 191, 203, 305, 336–339, 346.
Lavoisier I 188, 189 u. f., 196 u. f., 268, II 9, 188, 223, 274, 289, 301, 302, 307, 308, 309—314, 315, 332, 362, 392, 393, 408.
Leblanc II 403.
Ledermüller II 296, 297, 298.
Leeuwenhoek I 306, II 226, 239, 240, 295, 296.
Leibniz I 77, II 37, 149, 175, 181, 190, 192, 203, 219, 220, 221, 224, 241.
Lemery II 225.
Leuckart II 412.
Leverrier I 148, II 383, 384.
Liebig I 318 u. f., II 365, 393, 394, 397, 408, 411.
Linné, Karl von I 127 u. f., 132, 245, II 110, 111, 279—283, 298, 370, 371.
Lippershey II 117.
Lloyd II 359.
Locke II 191.
Lukrez II 40, 41.
Lyell I 284 u. f., II 398, 417.

M.

Magelhaen II 84.
Magnus II 80, 81, 83, 104, 405.
Malpighi II 229, 230, 231, 237, 238 284.

Malus II 358, 359.
Mariotte I 97 u. f., II 187, 190, 273.
Martianus Capella I 30, II 96.
Maskelyne I 158, II 249.
Mästlin II 153, 155.
Maupertuis I 139, 140, II 246.
Maurolykus II 100, 101.
Maxwell I 182, 418, 420, II 434.
Mayer, R. I 355, 361, II 399, 400, 401, 402.
Mayer, Tobias II 243, 337.
Mayow II 274.
Meier, L. II 421.
Meyer, V. II 431, 432.
Megenberg I 24 u. f.
Melanchthon II 83, 99.
Melloni II 361, 390.
Menächmos II 46.
Mendeljeff II 421, 422.
Messier I 151.
Mersenne II 215.
Meton II 14.
Mithridates II 57.
Mitscherlich II 368, 369, 405, 418.
Montgolfier II 361.
Müller, Johannes I 107, 302 u. f., II 26.
Musschenbroek II 255.

N.

Naumann II 367.
Neper II 167.
Nestorianer II 69.
Newcomen I 343, II 267, 268.
Newton I 77 u. f., 141, II 115, 137, 169, 175, 190—195, 197, 199, 200—206, 210, 211, 217, 218, 220, 241, 242, 244, 245, 247, 248, 266, 338, 349, 356.
Nicholson II 274, 330.
Nièpce I 299, II 406.
Nobel II 404.
Nobeli II 360, 361.
Norman II 103, 143.

O.

Oersted I 292, II 334, 385, 386.
Ohm 390.
Olbers II 339, 407.
Ostwald II 433.

P.

Palissy I 108.
Pallas I 154, 160, 161, II 279, 347.
Papin II 266, 267, 268.
Paracelsus II 106, 107, 186.
Pascal I 62 u. f., II 180, 184.
Pasteur I 407, II 298, 409, 410, 420.
Périer I 62, II 180.
Peripatetiker II 103, 130.
Peurbach II 87, 94.
Peyssonnel II 295.
Piazzi I 148, II 339.
Picard I 86, II 193, 201, 202.
Pictet II 273.
Plato II 12, 15, 16, 58, 68.
Plinius I 19 u. f., 160, II 17, 30, 42, 53—56.
Plutarch I 29, II 75.
Porta II 101, 102, 103, 116.
Pouchet I 410.
Priestley I 192, 236, 238, II 222, 289, 301—307, 310, 310—313, 331, 362, 396.
Prokop II 65, 66.
Prout II 315, 316, 319, 421.
Ptolemäos II 3, 38, 39, 40, 45, 46, 47, 49, 50, 57—61, 67, 69, 72, 73, 85, 88, 92, 97, 103, 148, 155.
Pythagoräer I 28, II 12, 15, 44, 49.
Pythagoras II 11.

R.

Ramsay II 304.
Ray I 242, II 230, 295, 372.
Rayleigh II 304, 429.
Réaumur I 121, II 272.
Redi I 407, II 234, 236, 298.
Regiomontan II 87, 89, 80, 94.
Reich II 349.
Renaldini II 140, 271.
Reuchlin II 83.
Rhabanus Maurus II 78, 83.
Richer II 217, 218, 263.
Richter II 316.
Ritter II 354.
Roebuck II 403.
Romé de l'Isle II 223, 275.
Römer I 168, II 208, 209, 250.
Röntgen II 434.
Rowland I 406.
Rudbeck II 280.
Rumford I 357, II 258, 350—353.
Rutherford II 426.

S.

Saussure I 235 u. f., 261, II 396, 397, 411.
Savery I 343.
Seebeck II 360.
Scheele I 182 u. f, 192, 239, II 9, 188, 222, 301, 303, 305, 306, 307, 308, 313, 354, 365, 392, 404.
Scheiner II 119, 126, 150, 173.
Scheuchzer II 279.
Schleiden I 314 u. f.
Schönbein I 369, II 404.
Schröder II 409.

Schrötter I 373, II 404.
Schulze II 405.
Schwann I 309 u. f., 410, II 398, 408, 409.
Schwendener II 411.
Senebier I 236.
Seneca II 62.
Siemens II 432.
Silberschlag I 156 u. f.
Smith II 38.
Snellius I 85, II 40, 173, 195, 197, 202.
Sokrates II 64.
Spallanzani 408, II 298.
Spinoza II 100.
Sprengel I 221 u. f., II 284, 290, 292—294.
Stahl II 221, 222, 273, 301.
Steno II 223, 224, 274.
Stephenson II 269, 270.
Stevin II 177, 179.
Strabo II 61.
Sulzer II 321.
Swammerdam I 102 u. f., 307, II 27, 232—236, 298.
Symmers I 173.

T.

Talbot I 299, II 406.
Tartaglia II 103.
Thales II 3, 7, 8, 9, 11, 187.
Theophrast I 8 u. f., 126, II 27, 28, 29, 41, 43, 55, 56.
Thomas von Aquino II 74.
Timocharis II 18, 48.
Torell II 417.
Toricelli I 90, II 138, 139, 178 -180.
Tournefort II 230.
Trembley I 132 u. f., II 295.
Tschirnhausen 219.
Tycho Brahe I 49, 347, II 88, 155, 158—166, 168, 251.

U.

Unger I 324 u. f., II 410.

V.

Van Helmont I 407, II 9, 105, 187, 188, 301, 307.
Van t'Hoff II 421, 433.
Vasco de Gama II 87.
Vesal II 112.
Vitruv II 36, 62.
Viviani I 90, II 135, 138, 139, 140, 178, 211.
Vogel II 435.
Volta I 204, 210 u. f., II 320, 325—330, 362, 363.
Voltaire I 83.
von Baer II 238, 295.
von Dusch II 409.
van Marum II 257.

W.

Wall II 253.
Wallis II 192.
Watson II 257—270.
Watt 343, II 352.
Walls I 261.
Weber 391.
Weiß II 367.
Werner II 107, 276—278.
Wheatstone II 428.
Whewell II 66.
Wilkes II 272.
Wilson II 257.
Winkler II 422.
Wöhler I 275 u. f., II 393—395.
Wolff II 299, 379, 380.
Wollaston II 355, 366.

Y.

Young I 96, II 356—359.

Z.

Zucchi II 193.

Sach-Register.

A.

Aberration, sphärische II 82, 250—252,
Absorption II 425.
Achromatische Linsen II 245.
Achromatisches Fernrohr II 246.
Aëromechanik I 97.
Affinität II 431.
Agrikulturchemie II 397.
Akademieen II 94, 141, 191, 220.
Akkommodation II 174.
Akustik I 164, II 37.
Alchemie II 9, 42, 74, 75, 77, 104, 105, 166, 186, 221.
Alexandrinische Bibliothek II 68.
Alexandrinische Schule II 44, 45, 57–62, 64.
Alfonsinische Tafeln II 60, 87.
Algebra II 70.
Algol II 435, 436.
Alkalimetalle I 268 u. f.
Alkohol II 304, 312.
Almagest II 59, 60, 69, 71, 87, 92.
Aluminium I 275 u. f.
Ammoniak II 304.
Analytische Chemie II 188.
Analytische Geometrie II 175.
Anatomie II 111.
Anatomie des Menschen II 24, 55, 112.
Anatomie, vergleichende I 245 u. f., II 375—377.
Aneroidbarometer II 220.
Anlegegoniometer II 275.
Anthropologie I 242 u. f., II 283, 378.
Appertsche Konserven I 409.
Araber II 68—78.
Aräometer II 73.
Archimedisches Prinzip I 12.
Archimedische Schraube II 33.
Argon II 304, 312, 429, 432.
Arzneimittellehre II 56.
Assimilation II 396, 437.
Astatisches Nadelpaar II 361.
Astrolabium II 88.
Astrologie II 9, 77, 154.
Astronomia nova Kepplers I 48.
Äther I 91, 170, II 259.
Atmosphäre, ihre Höhe II 72.
Atoll I 338.
Atome II 10.
Atomgewichte I 254, II 318, 319, 320.
Atomistische Hypothese I 251, II 317.
Aufgußtierchen II 297.
Auge II 101, 150.
Auge, Anatomie des II 71.
Ausdehnung des Wassers II 141.
Avogadrosche Hypothese II 364.
Azimutalquadrant II 161.

B.

Barometer I 62 u. f., 100, II 139.
Barometerversuch Pascals II 180.
Bastardierung II 290, 291.
Becherapparat, Voltas II 329.
Benzol II 405, 420.
Bergbau II 107, 108.
Berührungselektrizität II 321—333.
Bestäubung II 291, 293, 294, 296.
Beugung des Lichtes II 198.
Bienen I 103 u. f., II 27, 233.
Bienenbrot I 104.
Biologie II 226.
Blitz I 61.
Blitzableiter I 172 u. f., II 262.
Blumenuhr I 128.
Blütenbiologie I 221 u. f.
Blutdruck I 119, II 288.
Blutkörperchen 239.
Blutkreislauf II 56, 114, 226.

Bogenlicht Davys II 333.
Botanik im Altertum I 8 u. f., II 27 —29, 57.
Botanik im Mittelalter II 81.
Botanik, systematische II 230.
Botanische Gärten II 81, 110.
Brechbarkeit I 79.
Brechung II 39, 199.
Brechungsexponent II 39.
Brechungsgesetz I 85, II 40, 172, 173.
Brechungswinkel II 172.
Brennspiegel II 33, 219, 310.
Brillen II 101.
Buchdruckerkunst II 90.
Bussole II 71.

C.

Camera obscura I 301, II 102, 150.
Carbamid, Synthese des II 395.
Ceres I 148.
Chemie, Anfänge der II 42, 43.
Chemie, organische II 306, 312.
Chemische Verbindung II 188.
Chloraluminium I 277.
Chlorstickstoff II 385.
Christlich-germanische Kultur II 78.
Chromatische Abweichung II 245.
Chronometer II 243.
Cölenteraten II 412.
Cyanverbindungen II 365.
Cykloide II 134, 213.
Cykloidenpendel II 214.

D.

Dampfkraft II 50.
Dampfmaschine I 340 u. f., II 102, 266—269, 433.
Dampfschiff II 269.
Dattelpalme I 8 u. f.
Datumsgrenze II 84.
Deklination II 103, 143, 144.
Dekret von Kanopus II 13.
Destillation, trockene II 288, 289.
Dialog Galileis I 34 u. f.
Diamagnetismus II 390.
Diamant II 219, 310, 431.
Dichogamie I 226, 230, II 294.
Differential- und Integralrechnung I 77.
Dikotyledonen II 371.
Dimorphie II 369.
Dioptrik II 171.
Dissonanz I 167.
Döbereiners Feuerzeug II 404.
Doliometrie II 176.
Doppelbrechung I 96, II 197, 210, 358, 369.
Doppelsternbahnen II 384.
Doppelsterne II 344, 436.
Dopplersches Prinzip I 353, II 435.
Drummondsches Kalklicht I 403.
Dualistische Theorie I 173.
Dynamik II 104, 128.
Dynamik, Begründung derselben I 41.
Dynamit II 404.
Dynamomaschine II 431.

E.

Einschachtelungstheorie II 299.
Eiskalorimeter I 196.
Elektrizität I 173, II 40, 145, 253.
Elektrizität, atmosphärische I 206, II 261.
Elektrizität, Fortleitung der II 254.
Elektrizität, galvanische I 204 u. f.
Elektrizität, ihre Geschwindigkeit II 257.
Elektrizität, tierische II 41, 42, 263.
Elektrische Abstoßung II 185, 253.
Elektrischer Ofen II 431.
Elektrische Wellen I 415 u. f.
Elektrisiermaschine II 185, 186, 256.
Elektrochemie II 433.
Elektrochemische Theorie II 392.
Elektrodynamik II 335.
Elektrolyse I 268, II 330, 331, 332, 387, 433.
Elektrolytisches Grundgesetz II 388.
Elektromagnetische Theorie des Lichtes II 434.
Elektroskop II 254.
Elektromagnetismus I 292 u. f., II 334.
Elektrometer II 325—327.
Elektrotechnik II 407.
Elementaranalyse II 312, 392.
Elemente II 303, 314.
Elemente, aristotelische II 42, 188.
Ellipse II 176.
Emanationstheorie I 77.
Embryologie II 238.
Emission II 425.
Emissionstheorie II 199, 244, 429.
Energieen, spezifische I 302.
Energieprinzip II 401, 402.
Entdeckungsreisen II 88—90.
Entwickelung des Hühnchens II 112.
Entwickelungsgeschichte II, 299, 411,
Epicyklen I 28, II 98.
Epicyklentheorie II 48, 58, 59, 60.
Erdbeben I 25, 388, II 225.
Erde, Abplattung der II 217.
Erde, Dichte II 249.
Erde, Entstehung II 224.
Erde, Gestalt II 17, 246.
Erde, Größe II 16.
Erdglobus II 88.
Erdmagnetismus II 103, 143, 144, 362.
Essigsäure II 43, 75.
Eudiometer I 239, II 362, 363, 396.
Eustachische Röhre I 2.

Evolutionstheorie II 299.
Exhaustionsmethode II 175.

F.

Fall der Körper I 41 u. f., II 31, 120, 129.
Fall über die schiefe Ebene II 103, 132.
Fallversuche II 132, 349.
Farben dünner Blättchen II 197, 199, 201.
Farben, Empfindung der II 357.
Fernrohr II 82, 115—119, 150, 196.
Feuerkugeln I 156, 158, 383, II 347.
Feuerspritze II 50.
Fixsterne II 16, 54, 100, 122.
Fixsterne, Astronomie derselben I 149.
Fixsterne, ihre Eigenbewegung II 248.
Fixsterne, ihre Entfernung I 346, 384, II 162, 384.
Fixsternkatalog II 18, 47, 60, 159.
Fixsternparallaxe II 345.
Flaschenzug II 33.
Flechten II 410.
Flimmerbewegung I 329.
Foraminiferen II 412.
Formationen II 277.
Fraunhofersche Linien I 393, 397, 398, 404, 405, II 355, 425.
Froschschenkel II 322—325.
Fundamentalabstand II 271.
Fundamentalpunkte II 140.

G.

Galvanische Säule I 210 u. f.
Galvanoplastik II 407.
Gärung II 408.
Gase II 187, 303, 304.
Gase, Kondensation der II 430.
Gay-Lussac-Turm II 365.
Gay-Lussacs Gesetz II 363.
Gefäßbarometer II 139.
Gegenfüßler I 61, II 54, 90.
Geißlersche Röhren II 258.
Geognosie, Begründung der II 276.
Geographie II 49, 60, 61.
Geologie II 417.
Geologie, Begründung der II 223.
Geologie, experimentelle II 225, 416.
Geologie, neuere Richtung I 284 u. f., II 277.
Geometrie II 8, 12, 46.
Geometrie, Ursprung II 6.
Germanium II 432.
Gesichtswinkel II 379.
Gewitter I 41, 260.
Gezeiten II 54, 242. 338.
Glasbereitung II 43.
Glaselektrizität II 254.
Gletscher II 417.
Gnomon II 8, 21.
Gradmessung I 86, II 20, 21, 70, II 201, 202, 246, 337.
Gravitationsgesetz I 83 u. f., II 200, 203, 204, 336.
Grenzwinkel II 172.
Griechische Texte II 80, 84.
Guldinsche Regel II 50.

H.

Halleyscher Komet I 48.
Harmonices mundi Kepplers I 48.
Harzelektrizität II 254.
Hebel II 86.
Hebelgesetz I 11, II 35.
Heber I 18.
Hefe II 409.
Heliozentrisches Weltsystem I 27 u. f., II 17, 95—100.
Heliometer I 349.
Helium II 432.
Hemiedrie II 367.
Heronsball I 17.
Himmelskarte II 436.
Hochschulen II 71, 79, 148.
Hohlspiegel II 38, 72, 82, 273.
Höllenstein II 75.
Honor vacui I 63, II 178, 180.
Humanismus II 83.
Humustheorie I 236, 321, II 397.
Huygenssche Konstruktion I 95.
Hydrodynamik II 241, 338.
Hydrostatisches Paradoxon II 177, 179.
Hypothesen, ihr Wert II 59, 157, 210.

I.

Jahr II 13.
Jahr, Dauer II 49.
Jatrochemie II 105, 106.
Ideenlehre II 16.
Idole I 58.
Imponderabilien II 258, 434.
Indivisibilien II 177.
Induktion, galvanische I 294.
Induktion, magnetische I 294.
Induktive Forschungsweise I 57 u. f.
Infinitesimalrechnung II 175, 241.
Influenz, elektrische I 176, 180.
Influenz magnetische I 180.
Infusorien I 390, 408.
Inklination II 103, 143 144.
Inquisitionsprozess Galileis II 126.
Insekten II 55, 232, 234, 238.
Insektenauge I 305.
Insekten und Blumen I 229.

Interferenz II 357.
Jod I 262 u. f.
Jodwasserstoff I 265.
Isochronie II 134, 213.
Isomorphie II 368, 418.
Jupiter II 15.
Jupitermonde I 36, 39, 243.
Jupitertrabanten II 121, 124, 127, 128, 208, 209, 338.

K.

Kalender, gregorianischer II 149, 155.
Kalender, julianischer II 13.
Kalilauge II 76.
Kalium I 268 u. f., II 332, 333, 365.
Kalorie I 198.
Kältemischung I 122, II 141.
Kapillarität II 287.
Kantenwinkel, Konstanz der II 223.
Kant-Laplacesche Hypothese I 137 u. f., 406, II 346.
Katastrophentheorie I 279 u. f., II 378, 398.
Kegelschnitte II 46, 100.
Kepplersche Gesetze II 167—169.
Kirchenväter II 64.
Klosterschulen II 78.
Klosterwesen II 65.
Kohlendioxyd II 302.
Kohlenstoff, Vierwertigkeit II 419.
Kometen I 48, 147, II 154.
Kompaß I 62, II 79.
Konduktor II 256.
Königswasser II 75.
Konsonanz I 167, II 38.
Konstanz der Arten II 283.
Konstanz der Gewichtsverhältnisse II 315, 316.
Kopernikanische Lehre, Ausbreitung I 34 u. f.
Kopernikanisches System II 121, 162.
Korallen II 295.
Koralleninseln I 332.
Körperfarben I 82, 96.
Korrelation, Prinzip der II 375.
Kosmogenie Galileis II 125.
Kosmos I 380 u. f.
Kraft, Erhaltung der I 355 u. f., II 241, 401.
Kraftlinien Faradays I 417.
Kräuterbücher II 28, 81, 109, 110.
Kreismessung des Archimedes II 34.
Kreuzstab II 88, 89.
Kronenrechnung II 36.
Kryptogamen I 324, II 298, 371, 411.
Krystalllinse II 101.
Krystallographie II 367, 418.
Kurzsichtigkeit II 173.

L.

Lachgas II 303.
Längenbestimmung II 50, 61, 103, 127, 128, 143, 243.
Lebendige Kraft II 220.
Lebenskraft I 316.
Lehrfreiheit II 99, 148, 154.
Leuchtgas II 405.
Leydener Flasche II 255.
Libration des Mondes II 127.
Licht, chemische Wirkung II 354.
Licht, Geschwindigkeit desselben I 89, 168, 174, II 208, 209, 252, 426, 427, 428.
Linsen II 219.
Lithium I 395.
Logarithmen II 167, 175.
Lokomotive II 269.
Lötrohr II 274.
Luft I 59, 182, 184, II 10, 51, 185, 289, 301, 303, 305, 307, 362.
Luftballon II 361.
Luftdruck II 130.
Luftfernrohr II 196.
Luftpumpe I 66 u. f., 90, II 182—185, 189.
Luft, Schwere derselben I 97, II 131.
Luftthermometer II 272, 273.

M.

Magdeburger Halbkugeln I 66.
Magnete I 53 u. f., 179, II 41.
Magnete, armierte II 145.
Magnetisierung des Lichtes II 389.
Magnetismus II 40, 170.
Malpighische Gefäße I 110, II 238.
Mariottesches oder Boylesches Gesetz I 97, II 189.
Mars II 15, 98, 165, 342.
Maß- und Gewichtssystem II 337.
Mathematik im Altertum II 34.
Mathematische Physik II 241.
Maxwellsche Theorie I 418.
Mathematische Prinzipien Newtons I 83.
Mechanik I 10 u. f., 41, II 86, 147.
Mechanik, Begründung derselben II 30, 31.
Mechanik der Flüssigkeiten II 177, 178.
Mechanik der Gase I 16 u. f.
Mécanique céleste I 144.
Medizin II 106.
Merkur II 14, 151, 152.
Metalle II 76.
Metallkalke I 191.
Metallurgie II 43.
Metamorphose der Pflanzen I 217 u. f., II 379.

Metamorphose der Tiere I 4.
Meteore I 50, 154, II 346, 347.
Meteorsteine I 361.
Mikrographie II 200.
Mikroskop II 115—118, 227, 233.
Mikroskopie II 227, 296.
Milchstraße I 40, 140, 148, 150, 152, 153, II 344.
Mineralanalyse II 274.
Mineralfarben II 43.
Mineralien, künstliche Darstellung II 419.
Mineralogie im Altertum II 29.
Mineralogie, neuere II 107.
Mineralsäuren II 43, 75.
Minimum der Ablenkung I 78.
Monat II 14.
Mond II 49, 54, 58, 122.
Mond, Entfernung I 85, II 19, 49.
Mondfinsternis II 16, 50, 243.
Mond, Größe II 19, 49, 98.
Mondtafeln II 243, 337.
Monochord II 37.
Multiple Proportionen I 255 u. f., 260, II 316.
Muskelfasern II 238.

N.

Natrium I 268 u. f., 393, II 332, 365.
Natronlauge II 76.
Naturgeschichte des Plinius I 19 u. f.
Nebelflecken I 139, 140, 150, 151, II 344, 345.
Nebelsterne I 383.
Nektarien I 228.
Neptun II 383.
Netzhaut I 1, II 173.
Nitroglycerin II 404.
Nomenklatur, binäre II 283.
Nordlicht I 158.
Null II 35.
Nullmeridian II 61.
Nullpunkt II 431.

O.

Ohmsches Gesetz II 390.
Optik II 37.
Optik, Newtons I 77 u. f.
Oxydation II 188.
Ozon I 369.

P.

Paläontologie II 374.
Pallasmasse I 161.
Papyrus Rhind II 6.
Parabel II 34, 35.
Parallaktisches Lineal II 88.
Parallaxe I 348, II 162, 248.
Paramagnetismus II 390.
Parthenogenetische Fortpflanzung II 239.
Pendel I 84, II 73.
Pendelbewegung II 133—135.
Pendeluhr II 135, 160, 211, 212, 216.
Perpetuum mobile II 243.
Pflanzenanatomie I 129, II 229, 238.
Pflanzen, insektenfressende II 412.
Pflanzenphysiologie I 235 u. f., 318, II 395, 396.
Pflanzenphysiologie, Begründung derselben I 116 u. f., II 284.
Pflanzensystem, künstliches II 110, 230.
Pflanzensystem Linnés I 127 u. f.
Pflanzensystem, natürliches II 110, 230.
Pflanzentiere II 412.
Pflanzenverwandlung II 28.
Pflanzenzellen II 228.
Pharmazeuten II 107.
Philosophie II 9, 10, 147, 190.
Phlogiston II 188, 221, 222, 273, 305, 307, 313.
Phönizier II 6.
Phosphor II 221.
Phosphor, roter I 373, II 404.
Photographie I 299, II 406, 426.
Physiologie I 302 u. f., 314, II 237, 284.
Physiologus II 80.
Planeten I 143, II 49, 58, 77, 98, 121, 338.
Planeten, Abstände II 15, 157.
Planetenbahnen I 145, 146.
Planetenbewegung I 86.
Planetensphären II 156.
Planetensystem I 362.
Planetoiden I 137, 339, 383.
Planetoidenring I 148.
Pneuma II 56.
Pneumatik I 16.
Pneumatische Wanne II 288, 289.
Polarisation II 358, 359, 370.
Pollenschlauch I 223.
Porzellan II 219.
Präzession II 18.
Präzession der Nachtgleichen II 60.
Problem der drei Körper II 337.
Protoplasma II 412, 437.
Protoplasmaverbindungen II 438.
Prouts Hypothese II 319.
Ptolemäisches System I 32, II 125.
Pyknometer II 73.
Pyrochemie II 431.
Pyroelektrizität I 176, II 418.
Pyrometer II 272.

Q.

Quadratur des Kreises II 6.
Quecksilberkompensation II 244.
Quecksilberoxyd I 192, II 76, 311.

R.

Rad an der Welle II 86.
Räderuhr II 161, 211.
Radikaltheorie II 365, 393.
Rationalität der Achsenabschnitte II 367.
Realismus II 148.
Reflexion, totale II 172.
Reflexionsgesetz II 38.
Reflexionsgoniometer II 366.
Reformation II 82, 142.
Refraktion, astronomische II 73, 172.
Refraktion, konische II 359.
Regenbogen II 196, 197.
Reizbewegungen II 411.
Rektascension II 160.
Reproduktionsvermögen II 295.
Rolle II 86.
Römische Kultur II 52—54.
Röntgenstrahlen II 434.
Rudolfinische Tafeln II 167.
Rumfords Versuch II 351, 352.

S.

Salpetersäure II 75, 311, 312, 404.
Salzsäure II 403.
Sandesrechnung I 12 u. f.
Sanduhr II 161.
Saturn II 14, 121, 341.
Saturnringe I 39, 147, II 207.
Sauerstoff I 182 u. f., II 303, 306.
Saugpumpe II 178.
Säule Voltas II 228.
Säuren II 311.
Schall, Fortpflanzung desselben I 88.
Schaltjahr II 13.
Schattenmessung II 8.
Schiefe der Ekliptik II 70.
Schießbaumwolle II 404.
Schießpulver II 71, 83.
Schiffahrt II 88, 89.
Schlaf der Pflanzen I 128.
Scholastik II 31, 67.
Schwärmsporen I 329.
Schwefelsäure II 75, 403.
Schwerkraft I 86.
Schwerpunktsbestimmungen II 35, 50.
Schwingungsmittelpunkt II 215, 216.
Sedimente II 417.
Seitendruck II 177.
Sekundenpendel II 219.
Senkwage II 274.
Sexualität der Kryptogamen II 410.
Sexualität der Phanerogamen I 10, 124 u. f., II 28, 231, 232, 281, 290,
Silbergewinnung II 29.
Solenoid II 335.
Sonne II 144.
Sonne, Atmosphäre der I 404, 405.
Sonne, Bewegung derselben I 148, II 48, 58, 151, 170, 343.
Sonne, Entfernung derselben II 19, 49, 98, 248.
Sonne, Größe derselben II 19, 49, 98, 248.
Sonnenbild II 101, 152.
Sonnenfinsternis II 8.
Sonnenflecken II 122, 126, 150, 151.
Sonnenparallaxe II 247.
Sonnenspektrum I 397, 398, 404, II 195, 198, 356, 425, 426.
Sonnentheorie Herschels II 342.
Sonnenwärme I 363.
Spaltöffnungen II 288.
Spannungsreihe Voltas II 327.
Spektralanalyse I 391 u. f., II 355, 356, 423, 424.
Spektralfarben I 81.
Spektroskop I 392, 423, II 435.
Spektrum I 78 u. f., II 354.
Spektrum, Umkehrung I 402.
Spezifische Wärme I 196, 199.
Spezifisches Gewicht II 73, 274.
Spiegelteleskop I 77, 149, II 193, 194, 196, 341.
Stein der Weisen II 77, 104, 105.
Steinkohle II 267.
Stereochemie II 421.
Sternbilder II 13, 47, 60.
Sterne, neue II 48, 159.
Sternschnuppen II 348.
Stoß, Fortpflanzung desselben I 94.
Strukturchemie II 420.
Sublimation II 76.
Süßwasserpolypen I 132 u. f., II 239, 295.
System der Tiere I 246, II 26.
System, künstliches II 282.
System Linnés II 281, 282.
System, natürliches II 282, 371, 377.
System, periodisches II 422, 432.

T.

Telegraph II 407.
Theodolit II 161.
Thermoelektrizität II 263, 360.
Thermometer I 121 u. f., II 140, 271.
Thermomultiplikator II 361, 391.
Thermoskop II 140.
Thränen der Pflanzen I 119, II 287.
Tierkreise I 250.
Tierkreis von Dendera II 13.
Tierstöcke II 413.
Titrierverfahren II 365.
Torricellische Leere I 63, 90.
Torricellischer Versuch I 97, 99, II 179.
Trägheit II 136.
Transformismus II 372, 380, 399, 413—416.

Transpiration II 285, 286.
Triangulation I 85, II 201.
Trigonometrie II 46.
Trockensubstanz I 241.
Tychos System II 163.

U.

Übersichtigkeit II 173.
Unitarische Theorie I 173.
Unruhe II 214, 215.
Unterredungen Galileis I 41 u. f.
Unzerstörbarkeit des Stoffes II 314.
Uranus I 148, II 341, 382.
Urstoff II 9.
Urzeugung I 407, 408, II 25, 234, 236, 298, 410.

V.

Vakuum II 130, 145.
Valenztheorie II 419.
Verbrennung I 186, 189, II 185, 274, 289, 305, 309, 310, 312.
Verbrennungswärme I 203, 358.
Verkalkung II 309, 310.
Versteinerungen II 86, 108, 111, 224, 225, 275.
Verwandlung II 234, 235, 236.
Vesuvausbruch II 53.
Vivisektionen II 57.
Voltaelektrometer II 387.
Volumgesetz I 258 u. f., II 364.
Vorrücken des Frühlingspunktes II 48.
Vulkane II 277.

W.

Wärme, animalische II 273.
Wärmeäquivalent II 352, 400, 401.
Wärme, Natur der II 272, 353.
Wärme, strahlende II 273, 353, 354, 391.
Wärmetheorie, mechanische I 197, 358, II 350.
Wasser II 9, 187, 308, 313, 330.
Wasserbäder II 76.
Wasserbarometer I 73, II 184.
Wasseruhr II 50, 69, 211.
Wasser, Zusammensetzung II 364.
Wellentheorie I 77, 87 u. f., 163 u. f., II 198, 207, 208, 244, 357, 359, 429.
Widmannstättensche Figuren II 348.
Wirbelbewegung I 86.
Wirkung des Dampfes I 17.
Wurfbewegung II 103, 129, 136.
Wurzeldruck I 119.

Z.

Zellenlehre I 309, II 398.
Zentrifugalkraft II 216, 218.
Zentrifugalpendel II 214.
Ziffern II 35.
Ziffernsystem II 70.
Zoologie, ihre Begründung II 25.
Zoologie I 1 u. f.
Zuchtwahl II 414.

Von demselben Verfasser sind erschienen:

Erläuterte Abschnitte aus den Werken hervorragender Naturforscher aller Völker und Zeiten als I. Band dieses Grundrisses. Zweite Auflage. Leipzig 1902. Verlag von Wilhelm Engelmann. Geh. M. 7.20; geb. in Leinen M. 9.

Otto von Guerickes neue „Magdeburgische" Versuche über den leeren Raum (Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften Nr. 59). Leipzig. 1894. Verlag von Wilhelm Engelmann. Geb. M. 2.—.

Leitfaden für den Unterricht im chemischen Laboratorium. Zweite Auflage. Hannover. 1899. Hahnsche Buchhandlung. (Als Vorwort diene des Verfassers Aufsatz „Über die Bedeutung, Einrichtung und Leitung praktischer Übungen im Laboratorium." Fries und Meyer, Lehrproben und Lehrgänge. Heft XXXV).

Inhalt des ersten Bandes und Auszüge

aus Besprechungen

über den

Grundriss einer Geschichte der Naturwissenschaften

von

Dr. Fr. Dannemann.

Inhalt des ersten Bandes.

Seite

1. Aristoteles begründet die Zoologie 1
Abschnitte aus der Tierkunde des Aristoteles.

2. Theophrast begründet die Botanik 8
Einige von der Dattelpalme handelnde Abschnitte aus Theophrasts Naturgeschichte der Gewächse.

3. Archimedes entwickelt die Prinzipien der Mechanik 10
Die wichtigsten Sätze über das Gleichgewicht und das Schwimmen.

4. Des Archimedes Sandesrechnung 12

5. Die Begründung der Mechanik der Gase und Dämpfe 16
Einige Abschnitte aus der Pneumatik Herons von Alexandrien.

6. Die naturwissenschaftlichen Kenntnisse des Altertums werden von Plinius gesammelt 19
Abschnitte aus dem 12., 14. und 33. Buche der Naturgeschichte des Plinius.

7. Die Naturwissenschaften im Mittelalter 24
Eine Probe aus dem Buche der Natur des Konrad von Megenberg.

8. Die Aufstellung des heliozentrischen Weltsystems 27
Nikolaus Kopernikus, Über die Kreisbewegungen der Weltkörper.

9. Die Ausbreitung der Kopernikanischen Lehre durch Galilei . . . 34
Galileo Galilei, Dialog über die beiden hauptsächlichsten Weltsysteme. 1632.

10. Die Entdeckung der Jupitermonde und der Saturnringe 39
Zwei Briefe Galileis an den ersten Staatssekretär des Großherzogs von Toscana.

Seite

11. Galilei als Begründer der Dynamik 41
Vom Fall der Körper.

12. Johannes Keppler 48
Kepplers ausführlicher Bericht über den im September und Oktober 1607 erschienenen Kometen und seine Bedeutung.

13. Gilbert erforscht die Natur des Magneten. 1600 53
Über die Pole, die Teilung und die Anziehung des Magneten.

14. Bacon als Verkünder der induktiven Forschungsweise. 1620 . . . 57
Über die Erklärung der Natur und die Herrschaft des Menschen.

15. Pascal entdeckt die Abhängigkeit des Barometerstandes von der Höhe des Ortes. 1648 62
Bericht über die von Périer am Fuße und auf dem Gipfel des Puy-de-Dôme angestellten Barometerbeobachtungen.

16. Die Erfindung der Luftpumpe 66
Otto von Guerickes neue „Magdeburgische" Versuche über den leeren Raum.

17. Newton erforscht die Natur des Sonnenlichtes. 1670 77
Abschnitte aus Newtons Optik.

18. Newton entdeckt das Gravitationsgesetz. 1682 83
Geschichte der Entdeckung der Gravitation. Newtons Verfahren und die auf seine Entdeckungen gegründete Theorie. Dieselbe Ursache, welche das Fallen der Körper auf der Erde bewirkt, zwingt den Mond, sich um die Erde zu bewegen.

19. Das Licht wird von Huygens für eine Wellenbewegung des Äthers erklärt. 1678 87
Huygens, Abhandlung über das Licht.

20. Die Entdeckung des Mariotteschen Gesetzes. 1679 97
Mariottes Abhandlung über die Natur der Luft.

21. Swammerdam zergliedert die Insekten 102
Swammerdam, Abhandlung über die Bienen. 1673.

22. Die Begründung der Pflanzenphysiologie 116
Hales, Versuche die Kraft zu entdecken, welche der Saft im Weinstock zu der Zeit hat, da der Weinstock tränt. 1727.

23. Celsius führt die hundertteilige Thermometerskala ein. 1742 . . . 121
Celsius, Beobachtungen von zwei beständigen Punkten auf einem Thermometer.

24. Die Lehre von der Sexualität der Pflanzen 124
Camerarius, Über das Geschlecht der Pflanzen.

25. Das künstliche Pflanzensystem Linnés 127
Allgemeine Betrachtung und Einteilung der Pflanzen.

26. Die Polypen werden als tierische Organismen erkannt 132
Trembleys Versuche mit dem Süßwasserpolypen. 1744.

27. Kant erklärt den Ursprung des Weltgebäudes. 1755 137
J. Kant, Allgemeine Naturgeschichte und Theorie des Himmels.

28. Laplace entwickelt ähnliche Ansichten über den Ursprung des Weltgebäudes wie Kant. Kant-Laplacesche Hypothese. 1796 144
Laplace, Darstellung des Weltsystems. 1796.

Seite

29. Herschel begründet die Astronomie der Fixsterne 149
W. Herschel, Nachricht über einige Beobachtungen, angestellt in der Absicht, den Bau des Himmels zu erforschen. 1784.

30. Die Meteore werden als kosmische Massen erkannt. 1794 . . . 154
Chladni, Über den Ursprung der von Pallas gefundenen und anderer ähnlichen Eisenmassen.

31. Die Wellentheorie findet einen hervorragenden Verfechter. 1760 . 163
Eulers Briefe an eine deutsche Prinzessin über verschiedene Gegenstände der Physik und Philosophie.

32. Die Erfindung des Blitzableiters. 1753 172
Franklin über das Gewitter und ein in Amerika zur Anwendung gelangendes Verfahren, Gebäude und Menschen gegen Blitzgefahr zu schützen.

33. Die Entdeckung der elektrischen Influenz und der Pyroelektrizität. 1758 176
Aepinus, Von der Ähnlichkeit der elektrischen und magnetischen Kraft.

34. Scheele entdeckt den Sauerstoff und analysiert die atmosphärische Luft. 1773 182
Chemische Abhandlung von der Luft und dem Feuer von K. W. Scheele,

35. Lavoisier erklärt die Verbrennungserscheinungen. 1774 189
Die Zerlegung der atmosphärischen Luft.

36. Die Erfindung des Eiskalorimeters und die Bestimmung von spezifischen Wärmen und Verbrennungswärmen mittelst desselben. 1780 196
Abhandlung über die Wärme von Lavoisier und Laplace.

37a. Die Entdeckung der galvanischen Elektricität 204
Galvanis Abhandlung über die Kräfte der Elektricität. 1791.

37b. Volta. Über die Elektrizität, welche durch die bloße Berührung verschiedenartiger leitender Stoffe hervorgerufen wird 210

38. Die Botanik unter dem Einflusse der Metamorphosenlehre 217
Goethes Versuch über die Metamorphose der Pflanzen 1790.

39. Die Begründung der Blütenbiologie 221
C. K. Sprengel, Das entdeckte Geheimnis der Natur im Bau und in der Befruchtung der Blumen. 1793.

40. Saussure begründet die Ernährungsphysiologie der Pflanzen. 1800 235
Saussure, Chemische Untersuchungen über die Vegetation.

41. Das Menschengeschlecht wird in fünf Rassen eingeteilt 242
Blumenbach, Über anthropologische Sammlungen und die Einteilung des Menschengeschlechts. 1806.

42. Cuvier begründet durch Verschmelzung der Zoologie mit der vergleichenden Anatomie ein natürliches System. 1812 245
Über eine neue Anordnung der Klassen, welche das Tierreich zusammensetzen. Von M. G. Cuvier.

43. Die Aufstellung der atomistischen Hypothese. 1808 251
Dalton, Ein neues System der chemischen Wissenschaft, I. Teil, 1. und 2. Kapitel.

Seite

44. Berzelius bestimmt die Gewichtsverhältnisse, nach denen chemische Verbindungen vor sich gehen und bestätigt Daltons Gesetz von den multiplen Proportionen 255
Berzelius, Versuch die bestimmten und einfachen Verhältnisse aufzufinden, nach welchen die Bestandteile der unorganischen Natur mit einander verbunden sind. 1811.

45. Gay-Lussac entdeckt das Volumgesetz. 1808 258
Gay-Lussacs Abhandlung über die Verbindung gasförmiger Körper.

46. Das von Courtois (1811) entdeckte Jod wird von Gay-Lussac eingehend untersucht 262
Gay-Lussacs Untersuchungen über das Jod. 1814.

47. Die Entdeckung von Natrium und Kalium. 1807 268
H. Davy, Über einige neue Erscheinungen chemischer Veränderungen, welche durch die Elektrizität bewirkt werden.

48. Die Entdeckung des Aluminiums. 1827 276
F. Wöhler, Über das Aluminium.

49. Cuviers Katastrophentheorie. 1812 279
G. Cuvier, Die Umwälzungen der Erdrinde.

50. Lyell begründet die neuere Richtung der Geologie. 1830 284
Ch. Lyell, Prinzipien der Geologie.

51. Die Entdeckung des Elektromagnetismus. 1820 292
H. Chr. Oersted, Versuche über die Wirkung des elektrischen Stromes auf die Magnetnadel.

52. Die Entdeckung der galvanischen und der magnetischen Induktion. 1832 294
Faradays Experimentaluntersuchungen über Elektrizität.

53. Die Erfindung der Photographie 299
Talbot, Über ein Verfahren, mit Hilfe des Lichtes zu zeichnen. 1835.

54. Die Physiologie erhält durch Johannes Müller eine wissenschaftliche Grundlage 302
A. Von den Energieen des Gesichtssinns. 1826.
B. Über die Augen und das Sehen der Insekten, Spinnen und Krebse.

55. Die Zelle wird als das Elementarorgan des tierischen und pflanzlichen Organismus erkannt. 1839 309
Schwann, Mikroskopische Untersuchungen über die Übereinstimmung in der Struktur und dem Wachstum der Tiere und Pflanzen.

56. Die Physiologie wendet sich gegen die Annahme einer besonderen Lebenskraft 314
Schleiden, Erörterungen über Gegenstand und Aufgabe der Botanik. 1845.

57. Liebig beantwortet die Frage nach der Ernährung der Pflanzen. 1840 318
Liebig, Der Prozeß der Ernährung der Vegetabilien.

Seite

58. Die Kryptogamenkunde wird durch wichtige Beobachtungen über die Fortpflanzung der Algen bereichert 324
Unger, Die Pflanze im Momente der Tierwerdung. 1842.

59. Darwin erklärt die Bildung der Koralleninseln 332
Ch. Darwin, Tagebuch über die naturgeschichtliche und geologische Erforschung der Länder, welche während der Weltumsegelung J. M. S. Beagle besucht wurden. 1836.

60. Carnot entwickelt eine Theorie der Dampfmaschine. 1824 340
Betrachtungen über eine bewegende Kraft des Feuers von S. Carnot.

61. Die erste Bestimmung der Entfernung eines Fixsterns. 1838 . . . 346
Bessel, Messung und Entfernung des 61. Sterns im Sternbilde des Schwans.

62. Das Dopplersche Prinzip. 1842 353
Einleitender Abschnitt aus Dopplers Abhandlung.

63. Das Prinzip von der Erhaltung der Kraft.
a) R. Mayer, Die organische Bewegung in ihrem Zusammenhange mit dem Stoffwechsel 355
b) H. v. Helmholtz, Über die Wechselwirkung der Naturkräfte 360

64. Die Entdeckung des Ozons. 1840 369
C. F. Schönbein, Über das Ozon.

65. Der rote Phosphor wird als eine Modifikation des Elementes Phosphor erkannt. 1850 373
A. Schrötter, Über einen neuen allotropischen Zustand des Phosphors.

66. Alexander von Humboldt vereinigt die Summe des Naturwissens seiner Zeit zu einem Gesamtbilde. 1845 380
Allgemeine Übersicht der Erscheinungen.

67. Kirchhoff und Bunsen schaffen die Spektralanalyse.
a) G. Kirchhoff und R. Bunsen, Chemische Analyse durch Spektralbeobachtungen. 1860 391
b) G. Kirchhoff, Untersuchungen über das Sonnenspektrum und die Spektren der chemischen Elemente. 1861 397

68. Pasteur weist nach, daß auch die niedrigsten Organismen aus Keimen und nicht durch Urzeugung entstehen. 1860 407
Pasteur, Die in der Atmosphäre enthaltenen organischen Körperchen.

69. Die Elektrizität wird als eine Wellenbewegung erkannt 415
H. Hertz, Über die Beziehungen zwischen Licht und Elektrizität 1889.

Auszüge aus Besprechungen des ersten Bandes.

Jeder Lehrer der Naturwissenschaften, dem es bisher an Zeit und Gelegenheit gefehlt hat, tiefer in das geschichtliche Werden der Probleme einzudringen, wird dem Verfasser für ein Buch, das tausend Aufschlüsse und Anregungen enthält, sehr dankbar sein.
(Bayer. Zeitschrift f. Realschulwesen 1897.)

Das Buch, das uns zugleich einen Einblick in die Entwickelung der Naturwissenschaften gewährt, bildet für jeden Interessenten eine reizvolle Lektüre und muß den Fachlehrern zur Verwertung beim Unterrichte, sowie zur Anschaffung für die Schülerbibliothek der oberen Klassen angelegentlich empfohlen werden. (Gymnasium. 1897. 12.)

Der Verfasser, welcher als Übersetzer und Mitarbeiter der Ostwaldschen Sammlung: „Klassiker der exakten Wissenschaften" bekannt ist, besitzt offenbar die ausgebreitete Literaturkenntnis, welche für eine gute Auswahl der Autoren Vorbedingung war, so daß dieselben als ganz vortrefflich gelungen anzusehen ist.
(Lehrproben u. Lehrgänge aus der Praxis d. Gymnasien u. Realschulen. 1896.)

Das verdienstvolle Werk wird auch dem Lehrenden gute Dienste tun.
(Jahresberichte d. Geschichtswissenschaft. 19. Jahrg.)

Jedenfalls ist die Arbeit Dr. Dannemanns eine höchst verdienstvolle.
(Kölnische Zeitung 1897. Nr. 674.)

Die Lektüre des Werkes kann der lernenden Jugend nicht warm genug empfohlen werden. Die Gedankenentwickelungen großer Forscher in ihrer Frische und Ursprünglichkeit wirken auf das nachhaltigste auf den empfänglichen Geist des Jünglings und beleben in hohem Grade sein Interesse an dem behandelten Gegenstand.
(Zeitschr. f. d. phys. u. chem. Unterricht 1897. Septbr.)

Nach dem Gesagten braucht nicht erst hervorgehoben zu werden, daß der Ref. das Studium dieses Buches allen dringend empfiehlt. Nicht nur dem Schüler, sondern zunächst wohl noch mehr dem Lehrer wird es eine Fülle von Anregung bringen. (W. Ostwald: Zeitschr. f. physikal. Chemie 1896. XX. 3.)

Überzeugt ein tieferer Einblick von der Vortrefflichkeit des Buches, so ergibt sich die Wichtigkeit desselben von selbst, wenn man bedenkt, daß es kein zweites derartiges Werk gibt, das bei wissenschaftlicher Zuverlässigkeit und sprachlicher Vollendung ein gleich klares und ansprechendes Bild der Gesamtentwickelung der Naturwissenschaften von ihren Anfängen bis auf die heutige Zeit bietet, wie Dannemanns epochemachende Geschichte der Naturwissenschaften. (Zeit und Geist. II. Jahrg. Nr. 13.)

Die erläuternden Anmerkungen, die D. bringt, zeugen von einer allseitigen naturwissenschaftlichen Bildung. Dem Buch kann man nur weite Verbreitung wünschen. Für die höheren Klassen von Real-Gymnasien und Gymnasien ist es ein prächtiges Lesebuch.
(Naturwissenschaftl. Wochenschrift. 1896. Nr. 33.)

Der Leser gewinnt hierdurch ein klares und anschauliches Bild nicht allein von der Bedeutung der Leistung des betreffenden Forschers, sondern auch von der Eigenart seiner Geistesarbeit und seiner Darstellungsweise und kann so die Entwickelung der Gesamtwissenschaft, wenn auch nur skizzenhaft, in objektiver Form verfolgen. (Naturwissensch. Rundschau 1897. Nr. 26.)

Referent kann nur wünschen, daß das Buch recht viele Leser finden möge.
(Wiedemanns Annalen der Physik und Chemie 1896. H. 8/9.)

Eine solche Idee, vortrefflich und mit voller Sachkenntnis durchgeführt, wie solches dieses Buch zeigt, verdient die höchste Anerkennung, denn sie hilft dem geschichtlichen Element im naturwissenschaftlichen Unterricht zu seinem bis jetzt leider mißachteten Rechte.
(Gaea 1897. Heft 6.)

Das Werk ist nicht nur zur Belebung des naturwissenschaftlichen Unterrichts der Jugend sehr zu empfehlen, sondern jedem Freunde und Förderer der Wissenschaft. (Chemisches Centralblatt, Septbr. 1896.)

Daß die Bekanntschaft mit den Quellen auch die reiferen Schüler nach jeder Richtung hin fördert und anregt, ist . . . anerkannt; demgemäß hat man eine Reihe von Hilfsmitteln solcher Art bereits in den Dienst der höheren Schulen gestellt. Dem Verf. vorliegenden Werkes ist es hoch anzurechnen, daß er eine solche, bis dahin fehlende Quellensammlung aus dem Gesamtgebiet der Naturwissenschaften veranstaltet und damit auch dem naturwissenschaftlichen Lehrer ein treffliches Anregungsmittel geboten hat. Wir können den Schulmännern die Benützung des Werkes zu eigenem Gebrauch und für die Hand der Schüler um so dringender empfehlen, als die Auszüge und die Bearbeitungen kürzerer oder längerer Abschnitte der wichtigsten Schriften von Aristoteles an bis zu Liebig, Pasteur und Humboldt dem vorgesetzten Zweck durchaus entsprechend sind und deren Auswahl der Fachkenntnis des Herausgebers das beste Zeugnis ausstellt.
(Literarisches Centralblatt 1896. Nr. 41.)

Das Ganze ist eine zielbewußte sorgfältig ausgewählte Sammlung, deren Abschnitte sich organisch aneinander gliedern und aufs beste für den zweiten Band vorbereiten. Der Originaltext ist in bester Übersetzung und dem heutigen Verständnisse angepaßt wiedergegeben und mit erläuternden Anmerkungen versehen. (Der Bote für deutsche Literatur. I. Jahrg. Heft 6.)

Den Schülerbibliotheken sei die Anschaffung des Grundrisses in zahlreichen Exemplaren besonders empfohlen, um diese beim Unterricht unter möglichst viele Schüler verteilen zu können. Ebenso wird das Buch, dessen zweiter Teil den Zusammenhang der verschiedenen naturwissenschaftlichen Gebiete erläutern soll, zu Prämien nützlichste Verwendung finden.
(Jahresberichte üb. d. höhere Schulwesen. XI. Jahrg.)

Let us hope the English language will soon possess a like work.
(Pharmaceutical Review 1896. Nr, 12.)

The choice of material is excellent and too much has been offered in no case, the collection is as admirable for what it omits as for what it includes. The chronological arrangement adopted is eminently sensible, and where translation has been necessary it has been clearly and smoothly done. Information of the kind presented should be a part of every one's education in this age of the world, and he who gains it gains an absorbing interest in seeing how the present generation has come by its heritage of the might, majesty, dominion and power of scientific knowledge. The work is admirably adapted to the purpose it is designed to fulfil.
(Journal of Physical Chemistry Nr. 3. 1896.)

The powerful stimulus which such a book offers cannot be overrated. It is intended primarily for students in high schools, polytechnical schools, colleges, etc., but is so delightful and unique in character, and supplies so gaping a want in the literature of instruction and of autodidactic reading that there is no lover of scientific culture, nor even of genuine classical culture, but could wish its pages might be ardently dwelt upon.
(The Monist. Nr. 1. Oktober 1896.)

Auch fanden Empfehlungen insbesondere des I. Bandes seitens höherer Schulbehörden statt, wie des Großherzoglich Badischen Oberschulrates, der Königl. Württemb. Kultusministerial-Abteilung und des k. k. österr. Kultusministeriums.

Auszüge aus Besprechungen der zweiten Auflage des ersten Bandes.

Alle diese Zusätze sind als wertvolle Bereicherungen des Buches zu begrüßen, dessen Bedeutung für den Unterricht neuerdings dadurch noch gesteigert ist, daß die preußischen Lehrpläne von 1901 ausdrücklich verlangen, der Schüler solle auch, soweit dies auf der Schule möglich ist, die Wege verstehen lernen, auf denen man zur Kenntnis der Naturgesetze gelangt ist. (Zeitschrift f. d. phys. u. chem. Unterricht 1902, V.)

Verfasser wünscht, daß sich das von ihm geschaffene Hilfsmittel immer mehr einbürgern möge; wir schließen uns mit ganzem Herzen diesem Wunsche an. (Naturw. Wochenschrift. 1902. Nr. 4.)

Dieses Buch stellt eine außerordentlich wertvolle Bereicherung unseres Wissens auf historischem Gebiete dar und ist jedermann wärmstens zu empfehlen. (Wiener klinische Rundschau. 1902. Nr. 28.)

Aber auch jeder Gebildete wird das Buch, das in anregendster Weise ein übersichtliches Bild von der Entwickelung der Naturwissenschaften gibt, mit großem Genuß und Nutzen lesen können. (Naturw. Rundschau 1902. Nr. 25.)

Ref. hat eine rechte Genugtuung empfunden, als ihm die zweite Auflage des Dannemannschen Buches vorgelegt wurde. Die Wahl der zehn hinzugekommenen neuen Abschnitte ist durchaus zu loben.
(Mitteilungen z. Gesch. d. Medizin u. d. Naturw. 1902. Nr. 3.)

Un livre excellent! Un tel livre, nous sommes parfaitement d'accord avec l'auteur, tel livre, ne s'écrit pas pour augmenter la quantité du savoir. mais il sert admirablement à l'approfondir, à faire comprendre le génie de la science.
(Janus, 15. September 1902.)

Möge das treffliche Werk viele gebildete Leser finden.
(Literarische Rundschau 1899.)

Auszüge aus Besprechungen des zweiten Bandes.

Über den ersten Band konnte Beibl. 20, p. 816 auf das Günstigste berichtet werden. Der zweite Band gibt eine knappe Darstellung der Geschichte der Naturwissenschaften, vor allem der Physik, Chemie und Astronomie; sie gibt eine sehr lesbare, gute Übersicht über das Gebiet.
(Beiblätter zu den Annalen der Physik und Chemie 1899. Heft 2.)

In klarer, allgemein verständlicher Sprache wird die Geschichte der gesamten Naturwissenschaften von Aristoteles bis auf unsere Tage dem Leser vorgeführt. Die übersichtliche Form, die leicht faßliche, anregende Darstellung

machen das Werk besonders für die höheren Klassen unserer Schulen geeignet; doch wird Jeder, der sich für Naturwissenschaften interessiert, aus dem Buche viel Anregung und Belehrung schöpfen. Erhöht wird der Wert des Buches durch die getreue Wiedergabe zahlreicher Abbildungen aus den Originalwerken.
(Naturwiss. Rundschau. XIV. Jahrg. Nr. 31 [1899].)

Noch höheren Wert muß man dem zweiten Bande des Werkes beimessen, in dem der Verfasser die fast unlösbar scheinende Aufgabe, das gesamte Gebiet der Naturwissenschaften in einer abgerundeten, alle bedeutsamen Einzelheiten zur Erwähnung bringenden und doch nicht in öde Aufzählung dieser Einzelheiten auslaufenden Darstellung zu umfassen, in meisterhafter Weise gelöst hat. Das war freilich nur für einen Mann möglich, bei dem sich mit einer außerordentlichen Kenntnis der Einzelheiten des Stoffes eine in jeder Zeile zu Tage tretende, auf die allgemeinen und großen Gesichtspunkte gerichtete Geistesanlage verbindet. Als Beispiel der Art, in der er den Stoff einheitlich zu behandeln verstanden hat, möge die Überschrift eines Abschnitts hier angeführt werden: „Die „beschreibenden“ Naturwissenschaften nehmen unter dem überwiegenden Einfluß der chemisch-physikalischen Forschung ihren heutigen Charakter an“, als ein zweites Beispiel des Geistes von dem das Werk getragen ist, möge noch der Schlußabschnitt „Aufgaben und Ziele“ erwähnt werden, in dem der Verfasser das Fazit der bisherigen Entwickelung zieht und einen Ausblick auf die Zukunft eröffnet. Das Vergnügen, das diese übrigens auch in jeder Einzelheit ein Muster lichtvollster Darstellung bildende Behandlung des Gegenstandes bereitet, läßt gern darüber hinwegsehen, daß der Verfasser bei manchen Dingen, wie z. B. bei den Theorieen der modernen Stereochemie deren hypothetischen Charakter nach meinem Urteil nicht scharf genug betont. Ich kann nur damit schließen, daß ich dem Werke, dessen Brauchbarkeit durch ein sehr vollständiges Namen- wie Sach-Register am Schlusse des zweiten Bandes erhöht wird, die weiteste Verbreitung in den Kreisen der Lehrer, der gereiften Schüler und aller Gebildeten wünsche.
(Unterrichtsblätter f. Mathematik u. Naturwissenschaften. 1899. Nr. 1.)

Mit bewunderungswürdig verständnisvollem Eindringen in die einzelnen Disziplinen ist es dem Verfasser gelungen, sein Werk voll und ganz zu dem zu machen, als was es sein Titel ausgibt. Die Darstellung ist überall klar und fesselnd, der Vortrag fließend und auf jeder Seite von der Herrschaft des Autors über die von ihm bearbeitete Materie zeugend. Wir wünschen dem Buche Dannemanns eine weite Verbreitung unter unseren Fachgenossen.
(Pharmazeutische Wochenschrift. XVI. Jahrg. Nr. 9. [1899]).

Die bei derartigen Arbeiten nicht immer vermiedene Klippe einer mehr äußerlichen Aneinanderreihung hat der Verfasser glücklich zu umschiffen gewußt; überall ist auf das sachlich Wesentliche der Fortschritte hingewiesen worden, und die mannigfaltigen Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Gebieten werden überall zur Geltung gebracht.
(W. Ostwald i. d. Zeitschrift f. physikal. Chemie XXVIII. 1.)

Der Verfasser zeigt sich auch in diesem Bande als Meister in der Klarlegung und geschickten Aneinanderreihung der für die Entwickelung der Naturwissenschaften bedeutungsvollsten Probleme. Seine Ausführungen stützen sich sehr häufig auf die betreffende Originalarbeit und werden durch der letzteren entnommene charakteristische Figuren in überaus wirksamer Weise belebt. Die Fassung des Textes ist ungemein klar und bewährt sich besonders, wenn es gilt, das Verständnis schwierigerer Kapitel zu ermöglichen.
Zeitschrift f. Realschulwesen. 24. Jhrg. Heft 4.)

Das Gegebene ist schon jetzt vortrefflich und gibt einen interessanten Einblick in die Arbeit des Menschengeistes auf allen Gebieten der Naturwissenschaft. (Zeitschrift f. lateinlose Schulen. 1899.)

Der Verfasser hat uns einen tief durchdachten Überblick über den Werdegang der Naturerkenntnis gegeben, wie er aus dem Zusammenhange des ganzen Geisteslebens einer Zeit hervorgegangen ist. Namentlich sind die letzten Ab-

schnitte, die der „neuesten Zeit" gewidmet sind, solche zusammenfassende Rückblicke auf die Fortschritte der Erkenntnis einzelner Disziplinen. An der Hand derselben gewinnt man leicht ein volles Verständnis für den gegenwärtigen Stand der Naturwissenschaft und seinem Werden aus der früheren Kenntnis heraus. Wir richten gern die Aufmerksamkeit unserer Leser auf das wohlgelungene Werk und hegen dabei den innigen Wunsch, daß es durch uns manchen Freund finde. Im allgemeinen sind die Kenntnisse aus der Geschichte der Naturwissenschaft im Publikum recht gering. Hier ist die Gelegenheit geboten, sich besser zu unterrichten; man ergreife sie und lerne! (Die Natur. 1899. Nr. 25.)

So bildet das obige Werk eine hervorragende Erscheinung auf dem Gebiete der naturwissenschaftlichen Literatur, und es ist gleich sehr zu wünschen als zu hoffen, daß es nicht unbeachtet vorübergehen möge.
(Kölnische Zeitung v. 21. Mai 1899.)

Wir haben hier eine ungemein fleißige und ebenso glücklich gelungene Arbeit vor uns, deren Lesen von Blatt zu Blatt immer mehr Genuß bereitet.
(Rheinisch-Westfäl. Zeitung vom 25. II. 1899.)

The publishers could not have been more fortunate in supplementing their reprints of the exact sciences, commonly known as Ostwald's „Klassiker", than by a work of this kind. We have no doubt that this second volume will be received with even greater favor than the first. We hope that every American science teacher who has a reading knowledge of German will study this book. He cannot affort to be without it.
(Pharmaceutical Review. Vol. 47. Nr. 4. April 1899.)

Dr. Dannemann speaks in a quiet way in his preface of the book being useful to pupils in the upper forms of high schools, but shall we not be frank and admit that there is none of us — Herren Professoren, Doctoren, Privat-Docenten, and Gelehrten in general — who would not be the better of reading a book like this, and renewing our youth thereby.
(Natural Science. Vol. XIV. Nr. 88.)

Ist der erste Band eine Art Propädeutik, so **stellt der zweite kürzlich erschienene Band die Geschichte der Naturwissenschaften zum ersten Male im Zusammenhang dar.** Das Buch ist fesselnd und klar geschrieben, geht stets auf die Quellen zurück und erweist sich als eine höchst gewissenhafte, von großen Gesichtspunkten verfaßte Arbeit. — Eine Fülle schwer zu beschaffender Illustrationen nach den Originalen erhöht den historischen Reiz. Wir danken dem Verfasser herzlichst für dieses wertvolle Werk, das jedem unseres Faches eine genußreiche Lektüre bieten wird.
(Die Umschau. III. Jahrg. Nr. 40. 30. Sept. [1899].)

The whole thing is written up in a clear and entertaining fashion, the philosophical aspect of the successive advances is kept well in the foreground, and the author has avoided the temptation to write too much. The result is emphatically a good and interesting book.
(Journal of Physical Chemistry. 1900.

Cet excellent ouvrage nous donne une vue d'ensemble sur la marche générale du développement des sciences de la nature au sens le plus large du mot. (Janus 11. 9. 1900.)

Druck der Kgl. Universitätsdruckerei von H. Stürtz in Würzburg.

